

THÈSE

PRÉSENTÉE

A L'UNIVERSITÉ DE PARIS-SUD
CENTRE D'ORSAY

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES APPLIQUÉES
MENTION SCIENCES DE L'ÉDUCATION

PAR

Gérard BOUHOT

Licencié ès-sciences, Docteur de l'Université de Paris

Maitre-Assistant

au Centre Audio-Visuel de l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud

Sujet :

**De l'utilisation en sciences, du cinéma et
de la télévision en recherche et en pédagogie.**

SOUTENUE LE 12 FÉVRIER 1971 DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN

M. BENOIT

PRÉSIDENT

M. BROUSSE

M. CORABŒUF

M. LE CORRE

M. MIROUSE

EXAMINATEURS

THÈSE

PRÉSENTÉE

A L'UNIVERSITÉ DE PARIS-SUD
CENTRE D'ORSAY

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES APPLIQUÉES
MENTION SCIENCES DE L'ÉDUCATION

PAR

Gérard BOUHOT

Licencié ès-sciences, Docteur de l'Université de Paris

Maître-Assistant

au Centre Audio-Visuel de l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud

Sujet :

**De l'utilisation en sciences, du cinéma et
de la télévision en recherche et en pédagogie.**

SOUTENUE LE 12 FÉVRIER 1971 DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN

M. BENOIT

} PRÉSIDENT

M. BROUSSE

M. CORABŒUF

M. LE CORRE

M. MIROUSE

} EXAMINATEURS

323-77

1877

UNIVERSITY OF LEIDEN

LIBRARY

1877

UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY

1877

UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY

1877

UNIVERSITY OF LEIDEN LIBRARY



PREAMBULE



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552011_0006

PREAMBULE

Lorsque nous sommes entré comme Assistant au Laboratoire de Physiologie Générale de la Faculté des Sciences d'Orsay, lors de la création du Service du Professeur BENOIT, nous avons abandonné l'idée qui nous était chère : réaliser des Films Scientifiques. Grâce à un hasard de circonstances, après deux ans de Physiologie Animale, alors que nous effectuions notre Service Militaire, l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud nous offrit le poste souhaité. Nous devons à l'humanité de Monsieur le Professeur BENOIT d'avoir pu quitter son laboratoire pour entrer au Centre Audio-Visuel et accomplir notre dessein. C'est ce professeur, notre maître, que nous avons l'honneur de retrouver aujourd'hui à la Présidence de notre jury.

Monsieur le Professeur BROUSSE, Rapporteur, s'est depuis longtemps inquiété du sort réservé à l'Audiovisuel. Ce n'est que depuis 1970 qu'un Comité Consultatif peut s'occuper de l'avenir du corps enseignant dévolu à l'Audiovisuel. L'orientation de ce comité est avant tout littéraire, car la pédagogie a été reconnue en lettres il y a déjà plusieurs années. Grâce à l'intervention de Monsieur le Professeur BROUSSE auprès de Monsieur le Professeur MERCOUROFF, la Pédagogie des Sciences a été créée à la Faculté des Sciences d'Orsay en 1969 et notre travail de Doctorat a pu être concrétisé. Sans ce concours fondamental, nous ne serions pas encore en mesure de présenter notre Thèse.

Monsieur le Professeur CORABOEUF, que nous connaissons depuis notre passage à Orsay, nous a énormément aidé dès le début de notre carrière. L'inscription sur la Liste d'Aptitude aux Fonctions de Maître-Assistant n'est possible qu'au vu de publications. Or, lorsque nous avons présenté notre candidature, un film, même de synthèse, n'était pas reconnu comme publication. C'est au laboratoire du Professeur CORABOEUF que nous avons effectué nos premières recherches par le cinéma utilisé comme moyen d'enregistrement. Nous devons ainsi à l'aide de Monsieur le Professeur CORABOEUF d'avoir pu commencer notre carrière de Maître-Assistant. C'est avec une grande joie que nous l'accueillons à notre jury.

Ce n'est que plus récemment que nous avons rencontré Monsieur le Professeur LE CORRE. Son activité en Enseignement Programmé et sa participation à la création de l'UER 143 de Paris VII, Didactisme des Disciplines Scientifiques, le rapprochent de notre domaine. C'est grâce à cette conjonction qu'a pu être envisagée notre Thèse sur publications. Bien que cette collaboration soit de fraîche date, nous espérons qu'elle continuera et qu'elle s'amplifiera. Nous remercions Monsieur le Professeur LE CORRE pour l'aide très importante qu'il nous a apportée.

Monsieur le Professeur MIROUSE représente ici plus particulièrement les nombreux scientifiques avec lesquels nous avons collaboré lors de la réalisation de films pédagogiques et spécialement des films de Géologie Régionale. Nous avons, au cours du travail effectué en commun avec Monsieur le Professeur CLIN, pour la réalisation des Pyrénées, le plus récent de la série, bénéficié de la clarté de ses conceptions et du dynamisme de sa pédagogie. Ouvert aux moyens audiovisuels il nous a épaulé dans notre action, nous sommes heureux qu'il ait accepté de faire partie de notre jury.

Que les techniciens qui ont collaboré à nos travaux trouvent ici l'expression de nos remerciements, ainsi que l'administration du Centre Audio-Visuel pour l'aide matérielle qu'elle nous a fournie lors de l'édition.

Notre travail de Thèse, en raison du déroulement de notre carrière, est peu orthodoxe. Cinéma et Télévision en Circuit Fermé en sont les éléments de base et les fils conducteurs. Etant donné notre position dans un service audiovisuel, nous avons conçu nos publications de recherches comme des notes techniques apportant une contribution à l'élaboration d'un matériel de recherche, et non à l'évolution des théories de la discipline. Après publication dans une revue scientifique, nous avons toujours laissé le chercheur appliquer lui-même, dans ses travaux de recherche, la technique mise au point. Notre travail a donc un caractère pluridisciplinaire.

En outre, bien qu'ayant effectué la plus grande partie de notre travail dans la réalisation de Films Pédagogiques d'Enseignement Supérieur en Sciences Naturelles, nous avons été amené à concevoir une publications n'y faisant que très partiellement appel.

Ces films restent sous-jacents dans la thèse écrite, mais ils constituent la charpente de notre action pédagogique. Les films de Géologie Régionale en particulier sont très utilisés et ont été à plusieurs reprises remarqués par les Jurys de Congrès Pédagogiques Internationaux (cf. Annexe 1, p XXXVII). Notre Thèse repose ainsi sur plus de soixante films que nous avons produits en collaboration avec de nombreux scientifiques, et est concrétisée par le présent mémoire écrit.

Nous avons conçu notre travail écrit comme une synthèse de nos publications de recherche (à l'exception de celles d'entre elles plus nettement orientées vers la Physiologie; que nous avons rédigées au début de notre carrière, et de celles concernant la pédagogie Audiovisuelle au niveau Secondaire), tout en discutant les raisons qui nous ont guidé dans ces voies. C'est dans cet esprit que nous avons reproduit in extenso nos publications.

Je tiens à dire tout particulièrement à Monsieur VALERIEN le plaisir que m'a apporté notre longue et fructueuse collaboration au Centre Audio-Visuel en production, recherche, enseignement et administration. Grâce au travail que nous avons effectué ensemble nous avons pu envisager la préparation de nos thèses. Je souhaite qu'un jour nous soyons à nouveau réunis par une entreprise commune.

Je remercie ma femme pour l'aide précieuse qu'elle m'a apportée lors de la rédaction du manuscrit, et Monsieur PAILLÉ pour son amitié, son soutien, ses nombreuses remarques et l'efficacité de son travail à mes côtés au CAV.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

<u>PREAMBULE</u>	1
<u>TABLE DES MATIERES</u>	5
1/ <u>PHOTOGRAPHIE ET CINEMA DE RECHERCHE</u>	11
1.1/ <u>CINEMA ET CINEMA SCIENTIFIQUE</u>	12
1.2/ <u>APPORT DE MAREY AU CINEMA SCIENTIFIQUE</u>	13
1.3/ <u>PHOTOGRAPHIES ET FILMS DE RECHERCHE, ORIGINE</u>	16
2/ <u>LIGNEE CLASSIQUE : RECHERCHES PAR LE CINEMA</u>	25
2.1/ <u>MICROCIRCULATION CORONAIRE</u>	26
2.1.1/ <u>INTRODUCTION</u>	26
2.1.2/ <u>SYSTEME D'ENREGISTREMENT</u>	28
2.1.2.1/ <u>Eclairage</u>	
2.1.2.2/ <u>Prise de vue</u>	
2.1.2.3/ <u>Microscope</u>	
2.1.2.4/ <u>Publications</u>	
2.1.3/ <u>AMPLIFICATIONS POSSIBLES DU SYSTEME</u> <u>D'ENREGISTREMENT</u>	47
2.1.3.1/ <u>Au niveau de l'éclairage</u>	
2.1.3.2/ <u>Au niveau de la prise de vue</u>	
2.1.3.3/ <u>Au niveau de la perfusion</u>	
2.1.3.4/ <u>Au point de vue corrélation temporelle</u>	
2.1.4/ <u>TECHNIQUES COMPLEMENTAIRES</u>	49
2.1.4.1/ <u>Prise de vue</u>	
2.1.4.2/ <u>Analyse des films</u>	
2.2/ <u>FLUORESCENCE INDUITE PAR LES ULTRA-VIOLETS</u>	53
2.3/ <u>CINEMATOGRAFIE DE L'ECRAN D'UN OSCILLOSCOPE</u>	53
2.4/ <u>ACCELERE EN CINEMACROGRAPHIE</u>	55
2.5/ <u>ACCELERE EN CINEMICROGRAPHIE</u>	55
2.6/ <u>UTILISATIONS ULTERIEURES DE CES DIFFERENTES TECHNIQUES</u>	56

3/	<u>UTILISATION EN RECHERCHE DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION</u> <u>COMME MOYEN D'INVESTIGATION</u>	58
3.1/	<u>TELEVISION SOUS-AQUATIQUE</u>	58
3.1.1/	<u>INTRODUCTION</u>	59
3.1.2/	<u>PROBLEMES POSES PAR LA PRISE DE VUE SOUS L'EAU...</u>	60
	<u>Angle de champ</u>	
	<u>Distance de mise au point</u>	
	<u>Taille d'un objet</u>	
	<u>Distance focale</u>	
	<u>Ouverture effective</u>	
	<u>Distorsion et aberrations</u>	
	<u>Transparence</u>	
	<u>Diffusion</u>	
	<u>Transmission</u>	
	<u>Chemin de lumière</u>	
	<u>Incidence de la lumière naturelle</u>	
	<u>Incidence de la lumière artificielle</u>	
	<u>Problèmes photographiques</u>	
3.1.3/	<u>CONCEPTION D'UN SYSTEME SOUS-AQUATIQUE</u>	64
	<u>Résistance à la pression</u>	
	<u>Résistance à la corrosion</u>	
	<u>Résistance aux chocs</u>	
	<u>Hydrodynamisme et Flottabilité Neutre</u>	
	<u>Autopropulsion</u>	
	<u>Télécommandes</u>	
3.1.4/	<u>CONCEPTION SPECIFIQUE D'UN CIRCUIT FERME DE</u> <u>TELEVISION POUR USAGE SOUS-AQUATIQUE</u>	66
	<u>Automatisme</u>	
	<u>Optique</u>	
	<u>Protection du hublot</u>	
	<u>Etanchéité au niveau du hublot</u>	
	<u>Bloc d'alimentation</u>	
	<u>Récepteurs</u>	
	<u>Berceau</u>	

3.1.5/	<u>KINESCOPIE</u>	71
	<u>Fréquence des Images, Définition</u>	
	<u>Synchronisation d'une caméra classique</u>	
	<u>Cadences de renouvellement des images</u>	
	<u>Synchronisation d'une caméra spéciale</u>	
	<u>pour kinescopie</u>	
	<u>Caméra à défilement continu</u>	
	<u>Compensation électronique</u>	
	<u>Kinescopie dans l'installation du</u>	
	<u>Centre Audio-Visuel</u>	
	<u>Perte de qualité de l'image entraînée</u>	
	<u>par le report sur film</u>	
3.1.6/	<u>PUBLICATIONS</u>	76
3.1.7/	<u>AMELIORATIONS POSSIBLES DU SYSTEME</u>	99
	<u>Eclairage et perception du relief</u>	
	<u>Kinescopie</u>	
	<u>Echelle des images enregistrées</u>	
	<u>Remorquage</u>	
	<u>Guidage du câble électrique</u>	
	<u>Traitement du film</u>	
	<u>Agrandissements sur papier</u>	
3.1.8/	<u>DEVELOPPEMENTS DU SYSTEME</u>	102
3.1.9/	<u>ETUDE PRELIMINAIRE DU "SATELLITE" SOUS-MARIN</u> ..	104
3.2/	<u>TELEVISION ET RAYONS X</u>	109
3.2.1/	<u>INTRODUCTION</u>	110
	3.2.1.1/ <u>Radiographie directe</u>	110
	3.2.1.2/ <u>Radiographie indirecte</u>	113
	3.2.1.3/ <u>Radiographie indirecte avec</u>	
	<u>intensification</u>	115
	3.2.1.4/ <u>Réalisations futures en radiographie</u>	
	<u>indirecte</u>	115
3.2.2/	<u>L'AMPLIFICATEUR DE BRILLANCE</u>	117
3.2.3/	<u>INTERET DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION ASSOCIE</u>	
	<u>A L'AMPLIFICATEUR DE BRILLANCE</u>	118
3.2.4/	<u>KINESCOPIE D'UNE BANDE DE MAGNETOSCOPE</u>	120
3.2.5/	<u>PUBLICATION</u>	121
3.2.6/	<u>APPLICATION DE LA CINÉFLUOROGRAPHIE A LA</u>	
	<u>RÉALISATION DE FILMS PÉDAGOGIQUES</u>	130

4/	<u>UTILISATION EN RECHERCHE DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION</u>	
	<u>COMME MOYEN D'ELARGISSEMENT DU DOMAINE PERCEPTIF</u>	133
4.1/	<u>INTRODUCTION</u>	134
4.2/	<u>ENREGISTREMENT DU COMPORTEMENT ANIMAL OU HUMAIN</u>	
	<u>DANS LE NOIR ABSOLU</u>	137
	4.2.1/ <u>INTRODUCTION</u>	138
	4.2.2/ <u>PUBLICATION, DEVELOPPEMENTS</u>	140
4.3/	<u>DISSOCIATION D'UN STIMULUS EN LUMIERE BLANCHE ET DU</u>	
	<u>RAYONNEMENT CONCOURANT A LA FORMATION DE L'IMAGE</u>	149
	4.3.1/ <u>INTRODUCTION</u>	150
	4.3.2/ <u>PUBLICATION, DEVELOPPEMENTS</u>	154
4.4/	<u>NOUVEAU MOYEN PERMETTANT D'EFFECTUER DES OBSERVATIONS</u>	
	<u>DANS L'OBSCURITE</u>	161
5/	<u>ASPECTS DE L'EMPLOI DU CINEMA ET DU CIRCUIT FERME DE</u>	
	<u>TELEVISION DANS L'ENSEIGNEMENT</u>	163
5.1/	<u>CINEMA</u>	163
	5.1.1/ <u>INTRODUCTION</u>	164
	5.1.2/ <u>PROBLEMES DE REALISATION DANS LES</u>	
	<u>FILMS DE SYNTHESE</u>	169
	5.1.3/ <u>PROBLEMES DE PRISE DE VUE ET D'ANIMATION</u>	
	<u>DANS LES FILMS DE SYNTHESE</u>	193
	5.1.4/ <u>FILS CONDUCTEURS ET ANIMATIONS DANS LES</u>	
	<u>FILMS DE SYNTHESE</u>	208
	5.1.5/ <u>PROSPECTIVE AU SUJET DES FILMS DE SYNTHESE.</u>	209
	5.1.6/ <u>DOCUMENTS D'ACCOMPAGNEMENT ET PUBLICATIONS</u>	
	<u>CONCERNANT LES FILMS DE SYNTHESE</u>	210
	5.1.7/ <u>AUTRES TYPES DE FILMS</u>	222
	<u>Films de types divers</u>	
	<u>Films pédagogiques</u>	
	<u>Formation pédagogique</u>	
	<u>Adaptations pour l'Enseignement</u>	
	<u>Secondaire</u>	
	<u>Co-production</u>	
	<u>Production pour l'Enseignement</u>	
	<u>Secondaire, films 8 mm</u>	
	<u>Production de films 8 mm pour</u>	
	<u>l'Enseignement Supérieur</u>	
	<u>Film et Télévision</u>	

5.2/	<u>CIRCUIT FERME DE TELEVISION</u>	229
5.2.1/	<u>INTRODUCTION</u>	230
5.2.2/	<u>EXPERIENCES REALISEES DANS LE SEIN DE L'UNIVERSITE. EMPLOI DE LA TELEVISION POUR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES</u>	232
5.3/	<u>FORMATION DES ETUDIANTS A L'EMPLOI DES MOYENS AUDIO- VISUELS</u>	249
6/	<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	I
6.1/	<u>PHOTOGRAPHIE ET CINEMA DE RECHERCHE</u>	III
6.2/	<u>LIGNEE CLASSIQUE : RECHERCHE PAR LE CINEMA</u>	IX
6.3/	<u>UTILISATION EN RECHERCHE DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION COMME MOYEN D'INVESTIGATION</u>	XVII
6.3.1/	<u>TELEVISION SOUS-AQUATIQUE</u>	
6.3.2/	<u>TELEVISION ET RAYONS X</u>	
6.4/	<u>UTILISATION EN RECHERCHE DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION COMME MOYEN D'ELARGISSEMENT DU DOMAINE PERCEPTIF</u>	XXV
6.4.1/	<u>ENREGISTREMENT DU COMPORTEMENT ANIMAL OU HUMAIN DANS LE NOIR ABSOLU</u> ..	
6.4.2/	<u>DISSOCIATION D'UN STIMULUS EN LUMIERE BLANCHE ET DU RAYONNEMENT CONCOURANT A LA FORMATION DE L'IMAGE</u>	
6.5/	<u>ASPECTS DE L'EMPLOI DU CINEMA ET DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION DANS L'ENSEIGNEMENT</u>	XXX
6.5.1/	<u>CINEMA</u>	
6.5.2/	<u>CIRCUIT FERME DE TELEVISION</u>	
6.5.3/	<u>FORMATION DES ETUDIANTS A L'EMPLOI DES MOYENS AUDIOVISUELS</u>	
7/	<u>ANNEXES</u>	XXXVI
	<u>ANNEXE 1</u> : SELECTION DE FILMS PEDAGOGIQUES REALISES PAR LE GROUPE DE SCIENCES NATURELLES DU CENTRE AUDIOVISUEL	XXXVII
	<u>ANNEXE 2</u> : A) Filmographie de l'article : QUELQUES ESSAIS PRATIQUES DE VISUALISATION DANS LES FILMS ET LES EMISSIONS DE TELEVISION EN SCIENCES NATURELLES ...	XL
	B) Références bibliographiques de l'article : EMPLOI DES CIRCUITS FERMES DE TELEVISION POUR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES DANS LES UNIVERSITES...	XLII

1/ PHOTOGRAPHIE ET CINEMA DE RECHERCHE

Née des besoins scientifiques, la Cinématographie a été dès le début un outil de recherche qui est maintenant complété par le Circuit Fermé de Télévision, le cinéma servant alors de moyen d'enregistrement.

Les publications concernant des films de recherche ont débuté vers 1888, particulièrement en France, puis en Allemagne. Leur nombre s'est considérablement accru jusqu'en 1930. Ensuite, il semble avoir légèrement décliné jusqu'en 1950. A partir de 1950/55, les techniques associées à la cinématographie ont été largement diversifiées, et les travaux de recherche impliquant le cinéma sont devenus très nombreux. Une bonne idée sur la répartition des films de Biologie, d'Anthropologie, de Psychologie et de Médecine est donnée par l'ouvrage de A.R. MICHAELIS (1955) qui est un document de base dans ce domaine et un des seuls existants.

1.1/ CINEMA ET CINEMA SCIENTIFIQUE :

Le mot "Cinematograph" a été utilisé pour la première fois dans un brevet par G. BOULY (1892).

On peut définir ainsi le principe de ce procédé :

"Une série d'images successives, enregistrées sur le même ruban continu, sensible à la lumière, et exposées à un intervalle de temps standard, sont destinées à reproduire le mouvement ; quand elles sont observées en succession rapide, au-delà de la fréquence de fusion de la vision humaine, les images isolées persistent assez longtemps dans le cerveau pour que l'observateur perçoive une apparence de mouvement continu".

Nous laissons à A.R. MICHAELIS le soin de fournir les définitions, puisque c'est un des seuls à s'être vraiment penché sur l'histoire du Cinéma Scientifique :

Parmi l'ensemble des films, les films scientifiques de recherche peuvent être caractérisés ainsi :

"Un film de recherche résulte de l'application de la Cinématographie à une recherche systématique, en vue d'aboutir à une nouvelle connaissance scientifique".

Cette définition embrasse l'usage du cinéma comme moyen d'observation, de description, ou d'explication :

"Le Cinéma Scientifique correspond à la production, à l'analyse et à l'utilisation des films de recherche en Sciences" en vue de l'établissement d'observations ou de la vérification d'hypothèses.

Le Cinéma est maintenant doublé par l'enregistrement magnétique, mais les définitions restent identiques, le nouveau ruban étant sensible au magnétisme et non à la lumière.

G. WOLF (1952), J. PAINLEVÉ (1956) accordent une même signification au Cinéma Scientifique tout en développant ces points de vue : en effet la définition exacte du Cinéma Scientifique est très difficile à cerner.

1.2/ APPORT DE MAREY AU CINEMA SCIENTIFIQUE :

On considère généralement de nos jours que le cinéma n'a pas été inventé par une seule personne, ni dans un seul pays : "il est peu à peu devenu ce qu'il est" (W. CERAM, 1966).

Le développement des moyens d'observation a précédé celui des caméras :

- "Lanterne Magique" A. KIRCHER (1645) Rome,
- Application de la "persistance rétinienne" à l'observation d'une image, Thaumatotrope tournant, Dr. PARIS (1827),
- Phénakitiscopes de J.A. PLATEAU (1833 a et b) mis au point à Gand en Belgique ; J.A. PLATEAU détermina les lois de "l'effet stroboscopique" et étudia la "persistance rétinienne" (1828) (1829),

- travaux de F. von UCHATIUS (1853) à Vienne qui combina "Lanterne Magique" et "Phénkitiscope" et réussit les premières projections animées, mais il s'agit toujours de dessins,
- travaux des Frères W. et F. LANGENHEIM (1850) de Philadelphie, qui réalisent les premières projections photographiques.

La caméra est née des travaux de F. MUYBRIDGE, E.J. MAREY, T.A. EDISON, G. EASTMANN. La synthèse finale projecteur/caméra est due à W. FRIESE-GREEN et surtout aux frères A. et L. LUMIERE.

Ami des biologistes Claude BERNARD et Louis PASTEUR, E.J. MAREY, dès 1869, lors de son arrivée au Collège de France, étudiait le mouvement par des moyens graphiques, mais désirait obtenir des documents visuels permanents. Le kymographe enregistreur sur papier lui avait déjà permis d'établir par inscription à l'aide d'une transmission pneumatique, par exemple que le mouvement ascendant de l'aile du pigeon durait 0,04 s et le mouvement descendant 0,085 s (E.J. MAREY, 1878).

Ces travaux étaient connus par E. MUYBRIDGE qui, à Palo Alto en Californie, construisit une batterie de 6 à 40 appareils photographiques disposés en ligne, appareils qui lui permirent de décomposer des mouvements dans l'espace, et non dans le temps comme E.J. MAREY. E. MUYBRIDGE obtenait une succession d'images séparées. Il ne s'intéressait qu'à l'analyse du mouvement et accessoirement seulement à sa reconstitution par synthèse des images, bien qu'il utilisât pour ses démonstrations son Zoogyroscope, assurant une projection animée.

Dans une de ses premières publications en 1878, reprise plus largement par la suite (1882), il prouva que le cheval au galop se reçoit sur une seule patte.

Les travaux de E. MUYBRIDGE étaient surtout orientés vers la composition "d'annales du geste" destinées aux artistes. Signalons au passage qu'il fit une étude de physiologie : il étudia la transmission nerveuse, d'après le temps écoulé entre une détonation et la fuite de l'animal en expérience.

Lorsqu'il visita Paris en 1882, E.J. MAREY le rencontra et fut enthousiasmé par ses travaux.

E.J. MAREY travailla dès lors dans la même voie, et mit simultanément au point, la même année, deux appareils. Pour le premier, il employa la "Chronophotographie". La chambre donnait une succession d'images (jusqu'à 50) effectuées à intervalle constant sur une "plaque fixe". Néanmoins, la superposition des images sur la plaque, pour les gros animaux, ou pour les déplacements rapides, était difficile à analyser. Il pensa alors effectuer une séparation des éléments du mouvement, du type E. MUYBRIDGE, mais en réalisant des photographies séparées sur une seule plaque mobile à l'aide d'un seul appareil.

Ainsi naquit le "Fusil Photographique", inspiré par le "Révolver Astronomique" qui avait permis à J.C. JANSSEN (1874) d'enregistrer au Japon 48 images du passage de Vénus devant le soleil sur un daguerréotype.

Le "Fusil Photographique" (décrit en 1885) permettait d'effectuer 12 images en 1 seconde, sur une plaque de verre circulaire revêtue d'émulsion, avec des expositions individuelles de $1/720$ de seconde.

Dès 1882, E.J. MAREY étudia grâce à cet appareil le vol des oiseaux (publication 1883). Deux inconvénients apparurent : lors de la mise en mouvement la plaque opposait une forte inertie et les images enregistrées étaient de petite surface unitaire, environ un centimètre carré.

La "Chambre Chronophotographique à pellicule", réalisée à partir de 1887, et décrite en 1888, est la première caméra de type moderne à obturateur rotatif et pellicule défilant par saccades. La fenêtre de prise de vue était large, la cadence atteignait de 10 à 20 images par seconde. C'était un pas décisif dans la conception du Cinéma.

La caméra de W. FRIESE-GREEN utilise de la même façon de la pellicule non perforée et a été mise au point à la même époque en Angleterre.

C'est T.A. EDISON qui eut l'idée d'ajouter les perforations au film en 1889. Il standardisa sa largeur à 35 mm, avec 1 perforation par image dans les essais, puis 4 perforations par image, normes toujours en vigueur. G. EASTMANN, la même année, commercialisa un film dont le support transparent en nitrocellulose remplaçait le papier. Ce support transparent avait été découvert en 1887 par le pasteur H.W. GOODWIN.

Tous les "ingrédients" étaient inventés. En 1894, le kinetoscope de T.A. EDISON permettait l'observation individuelle des films. En 1895, au WINTERGARTEN de Berlin, un film est projeté par M. SKLADANOWSKY à l'aide de 2 projecteurs travaillant en alternance. Cette voie était un cul de sac.

La première projection cinématographique publique sur écran utilisant la technique actuelle eut lieu au siège de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Française, le 22 mars 1895, 44 rue de Rennes à Paris. Puis, les frères A. et L. LUMIERE, ayant parfait la mise au point de leur système, (d'après le brevet de Février 1895), organisèrent, dans le Salon Indien du Grand Café de Paris, la première projection payante de films conçus industriellement.

Ils avaient inventé l'entraînement du film par une griffe commandée par un excentrique, et conçu la réversibilité du cinéma : la caméra servait de projecteur. En 1898, leurs intérêts étaient implantés dans le monde entier et ils avaient déjà produit plus de 1 000 films. Il ne s'agissait plus de Cinéma Scientifique.

La piste sonore n'a été ajoutée par WARNER BROTHERS qu'en 1926.

1.3/ PHOTOGRAPHIES ET FILMS DE RECHERCHE, ORIGINE :

Bien que le cinéma soit né des besoins scientifiques, très peu d'auteurs se sont préoccupés de l'historique du Cinéma Scientifique. Il y a dans ce domaine un énorme travail à réaliser.

La documentation sur les Photographies et les Films de Recherches est très dispersée dans de nombreuses notes : "aucune synthèse n'a été tentée", (A.R. MICHAELIS, 1953).

Deux études coordonnées très précieuses, sur le Film de Recherche, sont parues récemment. Ce sont les ouvrages de A.R. MICHAELIS (1955) déjà cité, et l'ouvrage sommaire de P. THEVENARD et G. TASSEL (1948). Le mémoire C.A.V. de G. GEOFROY (1962) est digne aussi d'intérêt.

Les premières notes de recherche ayant pour base le cinéma ont été écrites par E.J. MAREY, E. MUYBRIDGE, et les différents auteurs cités dans le paragraphe : "1.2/ Apport de MAREY au Cinéma Scientifique".

On peut mentionner aussi de E.J. MAREY :

- les études sur le coeur (1892),
- les ralentis de locomotion à 120 i/s déjà (1894 : vol du pigeon avec un temps d'obturation par image de $1/4\ 000$ de s, c'est le premier enregistrement effectué à grande vitesse ;cette étude est suivie la même année par celle de la chute des animaux),
- la première utilisation de l'analyse image par image (1899 : locomotion du cheval - filmée à 30 i/s),
- les premières prises de vues en cinémicrographie : - crustacés et infusoires (1890), - circulation du sang (rapporté par J. DRAGESCO, 1952).
- les premiers accélérés obtenus par la cinématographie en vue par vue (rapporté par L. CHEVRETON, 1909).

Dans les pages qui suivent, ont été rassemblées les dates marquant une évolution dans la diversité des techniques mises en oeuvre par leurs auteurs pour conduire, dans différentes branches de la Science, des travaux de Recherche par la Photo et avant tout par le Cinéma :

- 19 août 1839, le Gouvernement Français livre au monde la daguerréotypie.

- 1839, J. DANCY réalise en Angleterre la première microphotographie en vue d'archivage, il photographie une tablette de pierre gravée. En 1860, il réduit la proclamation de Napoléon III à l'Armée d'Italie à la taille d'une tête d'épingle.
- 1839, J.B. DANCER, à Manchester, obtient sur daguerréotype des clichés microscopiques (G. BOUHOT, 1968).
- 1840, un an après la publication des travaux de N. NIEPCE et de L.J.M. DAGUERRE, l'Américain J.W. DRAPER effectue, avec 20 minutes de pose, à l'aide d'un télescope de Newton de 13 cm d'ouverture, un daguerréotype de la lune. Les frères HENRY obtiennent des clichés semblables, à l'observatoire de Paris, à partir de 1890.
- 1840, le Docteur A. DONNÉ réalise les premières prises de vues microscopiques sur daguerréotype.
- 1842, l'Italien MAJOCCHI prend les premiers clichés utilisables du soleil.
- 1845, L. FOUCAULT et H. FIZEAU, à la demande de F. ARAGO, photographient le soleil.
- 1851, photographie, par BERKOWSKI et BUSCH, des protubérances de la couronne solaire pendant l'éclipse totale du 28 juillet.
- 1852, WARREN de la RUE effectue les premiers clichés astronomiques pris en Angleterre ; l'Amérique suivra avec RUTHERFUND seulement en 1862.
- 1852, le Docteur BERTSCH passe à la plaque au collodion dès son invention pour effectuer des photomicrographies⁺.
- 1853, J.B. DANCER réalise des microphotographies⁺⁺ sur plaque.
- 1856, publication par SALZMANN des 180 premiers clichés archéologiques. Ils ont pour sujet les monuments de l'époque Judéique à Jérusalem. Les premières publications qui suivront ne seront éditées qu'en 1900.
- 1858, NADAR réussit les premiers clichés aériens à partir d'un ballon.
- 1859, le Colonel LAUSSEDAT met au point "sa chambre obscure topographique" et réalise les premiers travaux de photogrammétrie.
- 1863, Louis PASTEUR suggère à Louis de BROGLIE d'effectuer des observations photographiques des tableaux à restaurer. Ces études se poursuivront plus tard par l'emploi des rayons X, des IR et des UV. Le laboratoire du Louvre où ils débutèrent est devenu le plus important du monde dans ce domaine.
- 1869, création du premier service photographique : Hôpital Saint-Louis, dermatologie.

+ Photographies effectuées à l'aide d'un microscope.

++ Photographies de taille microscopique.

- 1878, sur l'impulsion de J.M. CHARCOT, dans son laboratoire de l'Hôpital de la Salpêtrière, un deuxième service photographique hospitalier est installé. A. LONDE le dirigea à partir de 1882. Ce laboratoire devint, sous l'impulsion de J.M. CHARCOT, le Service Photographique de l'Assistance Publique.
- R.P.P. DAGRON perfectionne l'observation des microphotographies par l'usage de la loupe de STANHOPE. Pendant le siège de Paris en 1870, il créa, au Service des Postes, un laboratoire qui achemine en 5 mois par pigeon 2 500 000 dépêches réduites photographiquement sur film au collodion.
- L. PASTEUR, qui s'était initié à la photomicrographie dès 1870, crée dans son Institut en 1885, le troisième laboratoire photographique de recherche. Ce nouveau laboratoire parisien devint très vite un des plus importants et l'est resté.
- A partir de 1870, TOPPLER, MACH, BOYS, WOOD et d'autres obtiennent, par éclairage à l'aide d'étincelles électriques, les premiers clichés parfaits de balles. L'étincelle était assez courte et assez puissante pour conduire à des clichés isolés. Une étincelle électrique avait été utilisée dès 1851 par FOX-TALBOT pour prendre son premier cliché instantané.
- Après les précurseurs, ELLERY en 1873 obtient une magnifique collection de clichés de la lune, qui sont restés pendant longtemps les meilleurs effectués.
- De la RUE, exploitant le mouvement de libration lunaire, réalise la première vue en relief d'une planète.
- 1877, J.C. JANSSEN photographie la structure en grains de riz de la chromosphère solaire.
- Ici doivent être cités les travaux entrepris par F. HURTER, sous l'impulsion de V.C. DRUMFIELD. Celui-ci le décida en 1876 à partager sa passion : "Pour un esprit rompu aux disciplines scientifiques, la pratique empirique d'un art réglé jusque-là par les règles du bricolage et du débrouillage sans guère de référence aux bases scientifiques, lui semblait une chose intolérable". Ils travaillèrent à mettre au point une méthode de mesure de l'intensité de la lumière. Puis, en mesurant le noircissement de l'émulsion en fonction de la lumen, ils découvrirent "la courbe caractéristique". Le 31 Mai 1890, ils publiaient dans le "Journal of the Society of Chemical Industry" le résultat de leurs travaux, précédé par une phrase

lapidaire devenue célèbre : "Obtenir une image parfaite par la photographie c'est un art ; mais la production d'un négatif techniquement parfait c'est une science" (extrait de B. NEWHALL, 1967). Ces travaux allaient faciliter l'application des procédés photographiques et cinématographiques aux sciences. Ils sont fondamentaux.

- Sur une suggestion de A. AMPERE, bien avant 1880, les premiers clichés dans l'infra-rouge de 10 000 à 20 000 Å sont réalisés.
- 1893, A. LONDE, dans le service de J.M. CHARCOT à la Salpêtrière, conçoit un appareil prenant 12 photographies successives, et qui, nanti de 12 objectifs et de 12 obturateurs électromagnétiques, peut prendre les 12 clichés en 1/10 de s. C'est vraisemblablement le premier appareil conçu pour des recherches en physiologie et en pathologie (étude des crises d'épilepsie). A. LONDE ne croyait pas en l'avenir du cinématographe, trouvant les clichés isolés supérieurs pour étudier les mouvements, car, disait-il, les projeter revient à se placer devant le sujet, sans pouvoir d'analyse. Il avait entrevu pour le cinéma la possibilité de permettre des ralentis et des accélérés qui, eux, seraient de grand secours.
- 1893, la photographie sous-marine scientifique débute avec L. BOUTAN, qui, au laboratoire Arago, de Banyuls-sur-Mer, réalise avec un appareil "Déetective" placé dans un caisson étanche compensé, fixé sur pied, des clichés 9 x 12 cm sur plaques.
- 1895, W.K. von RÖNTGEN publie dans les journaux Allemands le cliché de la main de sa femme pris aux rayons X avec une exposition de 30 mn.
- 1896, les Docteurs BARTHÉLÉMY et OUDIN renouvellent l'expérience pour l'Académie des Sciences. L'étude "radio-anatomique" d'un foetus injecté, réalisée par la suite, en 1900, par T. BARTHÉLÉMY, est saisissante.
- En 1895, L. BOUTAN réalise les premiers clichés sous-marins avec éclairage artificiel. Il utilise du magnésium en poudre, enfermé dans l'oxygène, mélange qu'il arrive parfois à mettre à feu sans explosion (L. BOUTAN, 1900).
- 1896, M.G. WEISS, qui travaille à la Faculté de Médecine de Paris, est le premier à tenter un enregistrement de longue durée en cinémicrographie.
- 1896, le Docteur E.L. DOYEN filme l'opération chirurgicale de séparation des soeurs siamoises Radica et Dodica, et réalise vraisemblablement le premier film opératoire.

- 1897, J. MACINTYRE reprend par le cinéma une série de clichés analytiques effectués en rayons X, et reconstitue le mouvement.
- 1897, W. ROUX et BALTAZARD utilisent une ingestion de contrastant, pour étudier le mouvement péristaltique de l'estomac du chien et de la grenouille.
- 1898, LANG et MELTZUNG, à l'aide d'une minuscule caméra fixée à l'extrémité d'un tube en caoutchouc, réalisent les premières photographies endoscopiques.
- 1899, le Docteur LEJAIS publie le premier ouvrage médical illustré de photos, il s'intéresse aux prises de vues pré-opératoires.
- 1907, K. REICHER filme en enchaîné une succession de 2 000 coupes sériées de cerveau, ce qui donne une continuité anatomique.
- 1908, aidé par C. PATHÉ, le Docteur J. COMANDON entreprend ses travaux. Dès 1909, il présente à l'Académie des Sciences de Paris les premiers films effectués au microscope et parfaitement enregistrés (J. COMANDON, 1909). En 1910, il soutient sa Thèse qu'il illustre de photographies et de films. Il poursuit dès lors ses travaux à l'usine Charles Pathé de Vincennes, et produit de nombreux films commerciaux. C'est la seule entreprise mondiale de ce genre. Il adapte à son microscope une caméra Pathé modifiée, puis plus tard une Debie GV modifiée. Il réalise aussi des films de vulgarisation, des films médicaux et chirurgicaux, puis des films d'hygiène sociale.
- 1904/1905, le "micropoint" est utilisé couramment pendant la guerre Russo-Japonaise.
- 1902, R. von LENDENFELD à Vienne réalise 30 images de petite taille à 2 200 i/s. C'est la première réalisation d'une caméra à grande vitesse à miroir et obturateur tournants, le film restant fixe.
- 1903, L. BULL réalise les premières prises de vues scientifiques à grande vitesse avec des images nettes. Plus d'obturateur, des étincelles électriques déclenchées en série éclairent le sujet. Il obtient 50 images de 20 x 35 mm parfaitement nettes à 2 000 i/s (c'est un interrupteur sur l'axe d'entraînement qui hache le primaire de la bobine de RUHMKORFF).
- A partir de 1909, le Capitaine CRANZ du laboratoire de recherche Balistique de Berlin passe, sur le même principe, de 5 000 à 100 000 i/s.
- En cinéma continu à haute vitesse, NOUËS à l'Institut "MAREY, passe de 1909 à 1912 de 80 à 300 i/s. DEBRIE entreprend la fabrication

industrielle de caméras de ce type qui, modifiées, sont toujours fabriquées.

- LABRELY, vers 1910, fabrique un système intégré, haute vitesse en continu. La caméra atteint 100 à 150 i/s. Il songe surtout à l'emploi pratique du ralenti en vue de son utilisation commerciale.
- 1911, H. BRAUS enregistre pour la première fois la croissance d'une culture de tissu en associant la technique de l'accéléré et la cinémicrographie.
- 1911, A. ERNEWMANN réalise la première installation commerciale de cinémicrographie.
- 1911, le Docteur A. LOMON collabore avec le Docteur J. COMANDON. En utilisant un objectif ouvert à f/1,55 construit par C. FLORIAN, ils réalisent les premiers films en radiocinématographie indirecte : épaule, genou, main de l'homme, et thorax, abdomen de cobaye et de singe. A. LOMON avait au préalable obtenu des photographies au 1/20 de s. Le Docteur J. COMANDON et le Docteur A. LOMON reprendront la radiocinématographie en 1919 dans le laboratoire de P. BROCA. Ils enregistreront en particulier les mouvements du coeur, 2 secondes d'image thoracique à 18 i/s, en 1924.
- 1913, F.B. GILBRETH étudie les "micromotions" (il analyse les gestes inhérents à la réalisation d'un acte industriel, en enregistrant en parallèle le temps nécessaire à leur accomplissement en millièmes de minute).
- 1914, HEAPE, et GRILLS construisent la première caméra haute vitesse à compensation optique. Elle ne donne qu'une définition faible. Ils améliorent la définition et atteignent 3 000 i/s en conduisant des études balistiques. La caméra utilisée pèse 4 tonnes.
- 1915, E. WILLIAMSON, aux Bahamas, réalise le premier film sous-marin : "Twenty Thousand Leagues Under The Sea", en s'enfermant avec sa caméra montée sur pied dans un caisson étanche (ce qui résolvait le problème du chargement). Il rentrait dans la sphère par un tube l'amenant sur une barge. Les projecteurs étaient suspendus à cette barge par des câbles. Ils étaient directement reliés au groupe électrogène porté par la barge.
- 1922, grâce à une caméra à prisme tournant à film fixe, L. BULL arrive à enregistrer plus de 250 images de 1 cm à 45 000 i/s (L. BULL, 1958 ; W. HINSCH, 1953).
- Vers 1920, débute le cinéma d'Enseignement Français avec M. CANTAGREL et J. BRÉRAULT.

- 1923, O. FRANCK utilise le cinéma en stéréoscopie pour l'étude du coeur de grenouille.
- 1925, Jean PAINLEVÉ tourne son premier film de recherche avec communication à l'Académie des Sciences de Paris. Il crée en 1930 l'Institut de Cinématographie Scientifique.
- 1926, L. GRAPER utilise la cinémacrographie stéréoscopique pour des recherches embryologiques.
- 1928, R.G. CANTI utilise l'accélééré pour mettre en évidence l'effet des rayons X sur les tissus vivants.
- 1931, T. NAFELI et R. JANKER utilisent une injection d'iodure de sodium comme contrastant, pour l'étude aux rayons X de la circulation chez les mammifères.
- 1934, le Commandant LE PRIEUR réalise les premières photographies en couleur sous-marines.
- 1935, P. DE FONBRUNE et J. COMANDON réalisent des micromanipulations sur une amibe.
- 1936, M. WIELAND utilise une cellule photoélectrique pour mesurer les temps de pose en photomicrographie.
- 1937, W.G. BURGERS et Coll. utilisent conjointement un microscope électronique et une caméra.
- 1937, le Père POIDEBARD utilise la photographie aérienne comme moyen d'investigation en archéologie, et découvre le site antique du port de Tyr.
- 1939, W. BOHME atteint sur le chat, en radiocinématographie directe, la cadence la plus forte réalisée, 209 i/s pendant 1,5 s ; il prend des images du thorax et ^{des battements} du coeur, il les trouve trop ralenties.
- De 1939 à 1948, le Commandant COUSTEAU réalise ses premiers films sous-marins ("Le Monde du Silence" sera projeté en 1956).
- 1940, J.E.G. Mc GIBBON réalise les premières prises de vues cinématographiques d'une bronchoscopie.
- 1947, G.P.S. OCCHIALINI et C.F. POWELL étudient les émulsions nucléaires (les traces sont produites par l'interaction des particules chargées - telles que les protons ou les particules α - avec les cristaux d'halogénure d'argent de petit diamètre présents au sein d'une émulsion concentrée épaisse).
- 1947, S.R. PELC met au point un système pratique d'autchistoradiographie.

- 1947, Le Centre Audio-Visuel de Saint-Cloud est créé à l'exemple américain : la France n'est plus un précurseur dans le domaine de l'image.

Dans ces quelques pages ont été réunies quelques-unes des phases marquantes :

- de l'emploi de la photographie dans la recherche,
- de la naissance du cinéma et de ses premières applications en tant que cinéma scientifique,

car il ne semble pas exister d'ouvrage synthétique sur le sujet. Les différents traités sur la Photographie et le Cinéma offrent dans ce domaine des bibliographies incomplètes, souvent en désaccord, ce qui rend la tâche difficile, même pour établir une simple documentation.

Les ouvrages de H. et A. GEMMINSHEP (1965), W. CEFAM (1966), B. NEWHALL (1967), G. BLERY et Coll. (1969), et celui de J. DESLANDES (1966) contenant de très nombreuses citations autobiographiques, en plus de ceux de A.R. MICHAELIS (1955), G. GEOFFROY (1962), et de P. THEVENARD et G. TASSEL (1948) ont été principalement utilisés.

Un travail de synthèse historique sous l'angle scientifique reste à faire. Cette situation montre que le Cinéma Scientifique, en tant que Discipline Universitaire, demeure un parent pauvre de la Science.

La France, après avoir connu de brillants novateurs, est, parmi les pays évolués, un des plus en retard pour l'utilisation de l'image en recherche et en pédagogie.

2/ LIGNEE CLASSIQUE : RECHERCHES PAR LE CINEMA

C'est par l'utilisation du cinéma comme moyen d'enregistrement qu'ont débuté nos recherches par l'image.

2.1/ MICROCIRCULATION CORONAIRE :

2.1.1/ INTRODUCTION :

En 1892, E.J. MAREY, quatre ans après la première description de sa caméra, publiait une note au sujet d'observations conduites par le cinéma, sur la révolution du coeur de tortue, perfusé par du sang défibriné.

La première étude cinématographique du phénomène cardiaque, d'intérêt médical, a été réalisée par C.A. FRANCOIS-FRANCK (1902). Il vérifia sur le chien, par enregistrement simultané de l'image du coeur et du cardiogramme, l'existence des murmures systoliques que POTAIN avait préalablement observés chez l'homme.

Le premier enregistrement de longue durée des battements d'un coeur humain à l'aide des rayons X a été obtenu par J. COMANDON et A. LOMON (1924), après leur essai de 1911, réussi, mais que la qualité des tubes à rayons X n'avait pas permis de poursuivre. La même année, P. von ZEZSCHWITZ (1924) signalait avoir obtenu en 1916 un court enregistrement du coeur d'un soldat, lésé par un éclat d'obus.

Ce n'est qu'en 1926 que J.H. CRAWFORD et H. ROSEMBERGER parvenaient à étudier la circulation à l'échelle microscopique. Ils enregistrèrent, en cinémicrographie, la circulation dans les capillaires humains. H. ROSEMBERGER (1927) décrit sa technique permettant de rendre optiquement transparente la base des ongles, par l'application d'une goutte d'huile de cèdre.

C.A. FRANCOIS-FRANCK, dès 1903, parvenait chez le chien à une investigation de la vasodilatation des artères coronaires et des artères du cerveau par le cinéma.

Aux Etats-Unis, des chercheurs du Michigan Sanatorium rapportaient en 1916 leurs études sur des agents chimiques thérapeutiques, au moyen de la cinémicrographie de la circulation du sang dans la membrane interdigitale de la grenouille. A. KROGH et P.H. REHBERG (1924) entreprenaient sur la grenouille, à l'Université de Copenhague, des études similaires sur la membrane nictitante et sur la langue.

H.S. HOWE (1932) réalisa des études sur la circulation cérébrale de la grenouille par une mise à nu limitée du cortex. L'arachnoïde était laissée intacte, et différents stimuli chimiques, électriques et thermiques étaient essayés, ainsi que des injections par voie intraveineuse. Il observa que les sédatifs du groupe des barbituriques, le nitrate d'amyle, la dextrose en solution hypertonique, le benzoate de sodium et de caféine entraînaient des effets différents sur la circulation cérébrale.

R. SIMONS et A.R. MICHAELIS (1953), à l'Université de Sydney, étudièrent sur la rainette bleue, après injection de fluoresceïne dans la veine abdominale antérieure, la circulation dans le coeur. L'illumination par des ultraviolets montre des vaisseaux jaunes, sur le fond bleu-violet du coeur volontairement sous-exposé (enregistrement en 16 mm, à fréquence normale, sur Kodachrome I).

Bien que le coeur de mammifère soit plus gros, les problèmes physiologiques à résoudre pour son étude sont plus complexes. Une étude des mouvements de la surface cardiaque par réflexion du filament d'une lampe sur l'épicarde a été conduite par C.J. WIGGERS (1929/1930). C'est une méthode analogue que nous avons reprise par ailleurs pour l'observation de l'onde de contraction à la surface du ventricule gauche d'un coeur de chien à 3 000 i/s selon la technique de M. PRINZMETAL (1950). Des problèmes se posent alors pour la mesure de l'exposition aux niveaux d'éclairement très élevés utilisés, sur une surface restreinte, pendant les 2 secondes de prise de vue. D.F. SHERONY et Coll. (1967) ont conçu un posemètre à deux échelles linéaires et une échelle asymptotique permettant des mesures d'exposition précises de 16 à 3 000 i/s.

En 1952, R.L. WEBB et P.A. NICOLL, à l'Université d'Indiana, enregistrèrent différents aspects de la circulation sous-cutanée chez la chauve-souris : vasomotricité des artérioles, contraction rythmique des veines, action des sphincters précapillaires ...

2.1.2/ SYSTEME D'ENREGISTREMENT :

C'est en 1964 que J. MARTINI et E. CORABOEUF mettent au point l'observation de la microcirculation coronaire sur un coeur isolé de rat perfusé par une solution physiologique additionnée d'hématies lavées. Cette solution est amenée par l'artère aorte. Son passage dans la circulation coronaire est imposé par la présence des valvules sigmoïdes. Une lampe de faibles dimensions (1,5 mm de diamètre sur 4,5 mm de long) est introduite à l'intérieur du ventricule droit par l'artère pulmonaire. Cette technique permet d'observer les phénomènes cinétiques de la circulation coronaire dans un coeur vivant (vitesse et sens de déplacement, vasomotricité, inversion des sens de déplacement). La photographie, utilisée alors comme moyen d'enregistrement, était inapte à fixer le mouvement des hématies. De plus, l'échauffement dû à la lampe, pourtant de puissance modeste : 3 W, limitait le temps d'expérimentation à environ 3 heures.

2.1.2.1/ Eclairage :

Le système d'éclairage et le système d'enregistrement ont été modifiés (G. BOUHOT et Coll., 1965), alors que le système de perfusion a été conservé. La lumière est amenée dans le coeur par un guide constitué par une baguette conique en métacrylate de méthyle (Plexiglass). La partie de la baguette de faible section, 1/2mm, est introduite par l'artère pulmonaire qui est ligaturée dessus. L'extrémité de cette baguette est coupée à 45° par rapport à l'axe optique. Le pinceau de lumière conduit par le guide sort avec un angle de 90° par rapport à l'axe optique. Pour éviter une dispersion de la lumière due au dioptré cylindrique de forte puissance que constitue la paroi du guide, un méplat est ménagé face au miroir. La tache lumineuse sur la paroi du ventricule droit, lorsque le guide est amené à son contact, n'excède pas 2 millimètres de diamètre. L'illumination est intense. Néanmoins, pour la renforcer, au lieu d'utiliser seulement la réflexion totale sur la face taillée à 45° de la baguette, cette face a été ensuite doublée par un miroir. Ce miroir est constitué par une feuille de polyéthylène aluminisé en surface. Celle-ci est collée par sa face brillante sur la face miroir de la baguette, à l'aide d'une résine époxy (Araldite). Le miroir est ensuite abrasé à la section de la baguette. La quantité de lumière traversant la paroi cardiaque est ainsi environ triplée : soit un gain de 1,7 diaphragme.

La partie supérieure de la baguette est éclairée par une lampe de 12 V - 100 W, dont on forme, à l'aide d'un condenseur réglable, l'image du filament sur la face d'entrée (le diamètre de la baguette, 5 mm, a été choisi de telle façon qu'elle puisse être déplacée de + ou - 1 mm dans toutes les directions, sans que l'image du filament déborde de sa face d'entrée).

2.1.2.2/ Prise de vue :

La caméra BEAULIEU MR 16, utilisée pour effectuer les enregistrements à la sortie du microscope, est pourvue d'un posemètre incorporé. Cette caméra possédant un obturateur à guillotine, le miroir de déflexion se trouve en position haute à l'arrêt. Le pinceau issu de l'objectif est envoyé vers le système de visée. Le premier miroir de ce système est semi-transparent et doublé par l'élément sensible CdS (sulfure de cadmium). Ce système réalise une mesure par intégration sur une partie homothétique du pinceau principal. Même si l'illumination du champ n'est pas homogène, l'exposition reste correcte. La sensibilité en ASA à afficher lors de l'utilisation de la pellicule TRI X ou 4 X a été déterminée lors des essais (elle est voisine de la sensibilité nominale de la pellicule, mais dépend du laboratoire assurant le traitement).

Ce système de mesure est très sensible.

Pendant les prises de vues, lorsque l'obturateur est ouvert, le miroir est escamoté, le système de visée et le posemètre sont obscurcis. Dans le viseur, la prise de vue se traduit par un papillotement. Pour le posemètre, une résistance de compensation, fonction de la cadence de prise de vue, est automatiquement mise hors circuit lors du déclenchement.

Les prises de vues étant effectuées en noir et blanc, le problème de température de couleur ne se posant pas, la puissance de la source lumineuse est réglée par l'utilisation d'un autotransformateur variable (Variac) qui alimente le transformateur de la lampe de la lanterne de microscopie.

Par ce système simple, ont été réglés dans ce cas les problèmes complexes liés à la réalisation d'un système semi-automatique ou automatique d'exposition en cinémicrographie (A.G. LONG, 1963 ; K.N. SAUSEN, 1963 ; E.L. TCHACAROF et V.CH. STOMONYAKOV, 1964 ; G. WEIDEL, 1964 ; K. NUKI et A. JEPSEN, 1965 ; K. LERCH, 1965 ; S. KLOSEVYCH, 1967).

Les systèmes simples préconisés par G.W. WHITE (1963), R.Mc.V. WESTON (1964) et C. MONCEL (1967) sont ici difficiles à utiliser. Le premier fait appel à une échelle permettant d'effectuer une extinction de l'image, il est trop long à employer (nous utilisons ce système en photomicrographie depuis 1959). Le deuxième, qui fonctionne en brillancemètre dans une gamme de lumen de 1 à 1 000 000, est beaucoup plus sensible, mais n'est qu'un peu plus rapide à utiliser ; par contre il permet des mesures spot. Le troisième oblige à démonter la caméra pour effectuer un film-test d'exposition (ce qui est peu compatible avec la dynamique de l'expérimentation, mais permet de contrôler la qualité de l'image enregistrée).

Le système employé présente de plus l'avantage de permettre simultanément :

- de cadrer et de mettre au point,
- de surveiller la circulation coronaire,
- de vérifier que l'éclairement est correct lorsque l'on procède à la prise de vue,

donc de déclencher dès qu'un phénomène intéressant apparaît.

La caméra est utilisée avec le moteur d'entraînement électrique accessoire, afin que le temps de prise de vue ne soit pas limité par le remontage du moteur mécanique incorporé.

2.1.2.3/ Microscope :

Le coeur est observé par l'intermédiaire d'un microscope WILD M 11 modifié pour être utilisé en position horizontale (le coeur est observé ainsi, suspendu à l'extrémité du guide de lumière). Une autre modification du microscope a été effectuée : la vis micrométrique de réglage de la position du tube a été décalée sur une glissière

d'environ 25 mm, pour augmenter la distance platine/objectif, afin de permettre le passage du coeur.

2.1.2.4/ Publications :

Les travaux réalisés grâce à cette technique ont été consignés dans deux notes :

- Microcinématographie de la Circulation Coronaire p32 à 39.
- Adaptation de la cinématographie à l'observation de la microcirculation coronaire (coeur isolé et perfusé de rat)..... p40 à 45.

Microcinématographie de la Circulation Coronaire¹⁾

G. BOUHOT, J. VALÉRIEN, Centre Audio-Visuel, École Normale Supérieure, St. Cloud S. et O.; J. MARTINI, E. CORABŒUF, Laboratoire de Physiologie Comparée, Faculté des Sciences, Orsay, S. et O.

Mikrokinematographie des Koronarkreislaufs. Die Blutströmungen in den Kapillaren der Herzkranzgefäße wurden photographisch und kinematographisch untersucht. Die hierbei angewendeten technischen Mittel werden beschrieben. Die Beleuchtung erfolgte im durchfallenden Licht, das mit Hilfe eines Plexiglasstabes eingeleitet wurde. Es werden einige Resultate der Beobachtungen mitgeteilt.

Cinematography of the Coronary Circulation. The blood flow in the coronary capillaries is investigated by photography and by cinematography. The technical means applied in this research are described. Illumination is done by transmitted light which is conducted by a plexiglass-rod. The author gives some results from his observations.

L'importance fonctionnelle du système coronaire est bien connue et chacun sait que les applications possibles de nos connaissances sur ce point sont d'un intérêt capital dans les domaines médical et physiologique. Toutefois les moyens d'étude de la vascularisation fine cardiaque sont, à l'heure actuelle, essentiellement indirects, du fait des difficultés résultant, d'une part de l'activité incessante du cœur, d'autre part de l'épaisseur de la masse myocardique, qui limitent les observations microscopiques sur l'organe entier [1] [2].

Nous avons orienté nos recherches vers la réalisation d'une technique et le choix d'un matériel biologique permettant de résoudre ces difficultés et d'étendre au myocarde en activité les observations physiologiques et pharmacologiques récemment réalisées sur d'autres tissus d'utilisation plus simple (peau, mésentère, paroi intestinale, muscles squelettiques, etc.) [3].

Technique Photographique [4]

Nous avons entrepris la mise au point des techniques suivantes:

Réaliser l'éclairage de la paroi myocardique vivante, irriguée, maintenue en bon état physiologique, à température convenable, de manière à rendre visible au microscope la vascularisation coronaire, y compris le réseau capillaire.

Rendre possible l'observation microscopique et l'enregistrement photographique du phénomène circulatoire proprement dit, c'est-à-dire rendre possible la détection des modalités de déplacement (sens, vitesse, etc.) du liquide contenu dans les vaisseaux.

¹⁾ Film réalisé par G. BOUHOT et J. MARTINI [6].

Les exigences du premier problème nous limitaient dans le choix du matériel biologique. Nous avons dès l'abord écarté l'éclairage en surface au profit de l'éclairage par transparence, beaucoup plus efficace dans l'examen des vaisseaux et de leur contenu.

Il convenait que le tissu fût assez mince pour permettre un éclairage et une observation satisfaisants, sans faire appel à une source lumineuse trop intense. Il convenait également que la vascularisation de ce tissu mince soit néanmoins normalement développée. Nous avons choisi, dans les expériences que nous avons réalisées, la région supérieure du ventricule droit d'un cœur de petite taille (cœur de rat isolé et perfusé).

Les exigences du second problème nous ont empêchés de nous contenter pour la perfusion, de solutions physiologiques habituelles dont le déplacement à l'intérieur des vaisseaux est impossible à déceler au microscope, du fait de l'absence d'hétérogénéités optiques.

Nous avons également renoncé au sang ordinaire, du fait de la difficulté d'obtenir une quantité suffisante de sang de rat, et des incertitudes résultant de l'emploi de sang complet hétérospécifique. Nous avons finalement choisi d'ajouter au liquide physiologique des hématies de bœuf ou de veau lavées plusieurs fois par centrifugation avec du liquide physiologique de MAC EWEN, jusqu'à ce que le surnageant soit parfaitement clair. Ces hématies sont oxygénées par petites quantités dans du MAC EWEN saturé en O_2 , et ajoutées ensuite en quantité variable au liquide de perfusion lui-même oxygéné.

L'emploi des hématies permet l'observation souhaitée des modalités de la circulation, une évaluation commode du diamètre approximatif des vaisseaux, et une oxygénation apparemment convenable du myocarde, à condition d'opérer à température relativement basse (température ambiante: $22^\circ C$ environ). Les expériences sont réalisées sur de jeunes rats (15 à 30 jours), à cause de la minceur de leur myocarde et de la rareté du conjonctif intermusculaire. Le cœur isolé est perfusé selon la technique de LANGENDORFF: c'est-à-dire que le liquide de perfusion entre par l'aorte; les valvules sigmoïdes empêchent son passage vers le ventricule, il ne peut s'écouler que par le système coronaire. Il circule dans ce système en entrant par l'orifice coronaire situé dans l'aorte, et ressort dans l'oreillette droite. La préparation est montée de façon à s'adapter sur la platine du microscope. Une lampe électrique de la taille d'un grain de riz (2 V, 3 W) est introduite au sommet du ventricule droit par l'artère pulmonaire. Le cœur ainsi préparé peut être maintenu 2 à 5 h dans un état de survie satisfaisant.

Pour faciliter les prises de vues, nous avons parfois utilisé un liquide physiologique privé de calcium, de façon à diminuer la contraction sans altérer le bon état physiologique du cœur. Il est possible de distinguer le contour d'un vaisseau sans que sa paroi proprement dite puisse être clairement mise en évidence. Les hématies sont visibles. La trace d'un globule apparente sur la pellicule photographique peut nous permettre d'apprécier grossièrement sa

vitesse (contour arrondi ou plus ou moins allongé). Bien que les plus fins capillaires soient facilement visibles à l'œil nu, il nous a été impossible d'en obtenir des photographies parfaitement nettes (voir [4]).

Technique Cinématographique [5]

La photographie utilisée au début comme moyen d'enregistrement se révéla très vite inapte à rendre compte fidèlement de ces différents phénomènes. Aussi la principale amélioration des conditions d'observation que nous avons essayé de mettre au point, a été l'adaptation d'un dispositif cinématographique qui nous parut être le moyen d'enregistrement et d'analyse le plus commode et le plus rationnel.

Le passage de la photographie à la cinématographie du réseau coronaire, exige une augmentation considérable de l'intensité de l'éclairage de la paroi myocardique, impossible à obtenir à l'aide d'une lampe de petites dimensions. Nous l'avons remplacée par un guide de lumière en "plexiglass" qui transmet à l'intérieur du ventricule droit la lumière émise par une lampe de forte puissance (100 W, 12 V) (fig. 1). L'intensité lumineuse ainsi obtenue

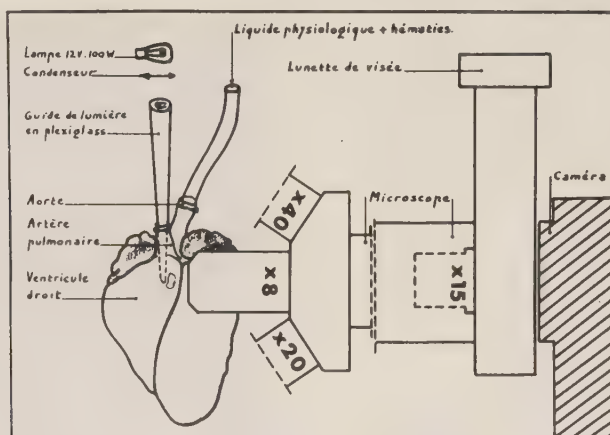


Fig. 1. Schéma du dispositif expérimental permettant de cinématographier la circulation coronaire dans un cœur de rat perfusé par la méthode de LANGENDORFF (voir texte)

permet de filmer en format 16 mm à des cadences de 16 à 64 images par seconde, cette dernière cadence se révélant intéressante par les possibilités d'analyse qu'elle peut apporter.

L'hétérogénéité d'éclairage du champ observé, inhérente à la technique, nécessite l'emploi d'une caméra à cellule photo-résistante incorporée dans le dispositif optique de prises de vues.

Résultats: Les observations présentées ici sont principalement destinées à donner un aperçu des possibilités offertes par la technique cinématographique. Le film fournit un document visuel assez fidèle de la circulation coronaire observée dans la région superficielle supérieure du ventricule droit, de rats agés de quatre à six semaines.

A ce niveau, le seul accessible actuellement, le réseau coronaire est essentiellement veineux (veines cardiaques antérieures débouchant dans l'oreillette droite). Mais il est également possible de distinguer l'irrigation fine superficielle du myocarde.

Les contractions cardiaques constituant un obstacle à l'observation, nous avons réalisé nos premiers essais en employant une solution physiologique privée de calcium. Un tel milieu diminue progressivement l'amplitude des contractions jusqu'à les annuler complètement. Ceci est visible dans la première partie du film où le cœur est totalement immobile ou ne présente plus que des contractions de faible amplitude.

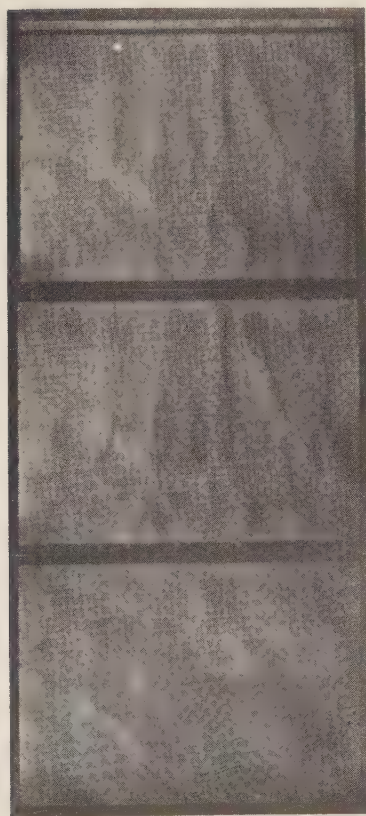


Fig. 2. Réseau capillaire de surface

On aperçoit des hématies dans la lumière des vaisseaux. Deux images de diastole sont suivies immédiatement par une image de systole, ce qui montre la rapidité de propagation de cette phase.

Film 16 mm, 16 i/s

Research Film Vol. 5, No. 3, 1965

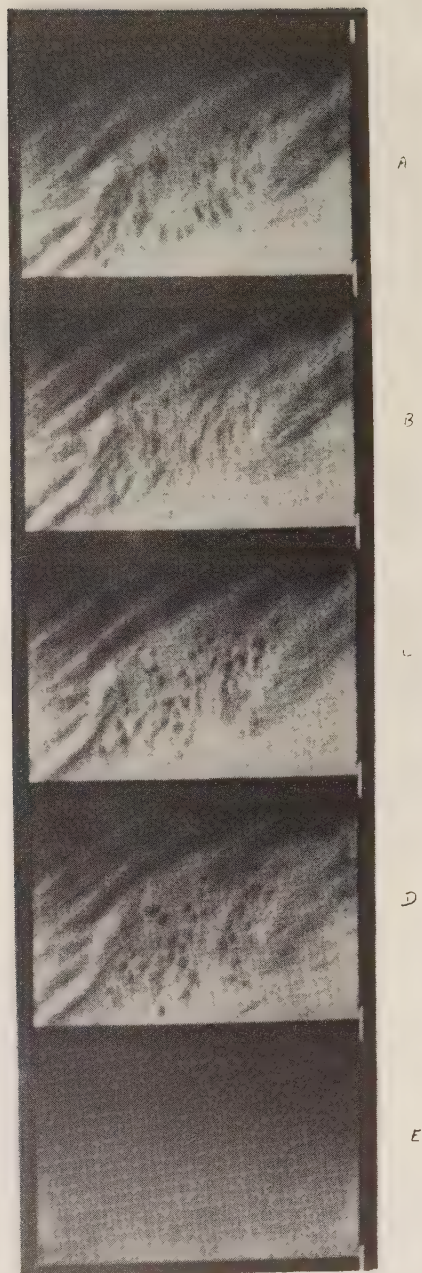


**Fig. 3. Inversion du sens d'écoulement
dans un gros vaisseau**
à la suite d'une injection d'adrénaline.
Ce phénomène est rendu très visible, ici, par
l'important arrêt bue marquent les hématies
(images c et d) juste avant le début de la systole
(image e). Film 16 mm; 16 i/s

Avec un milieu physiologique normal, l'observation du réseau vasculaire n'est facilement accessible que pendant la diastole (fig. 2 et film [6]), même dans les cas où il est observé à un faible grossissement (grandeur et profondeur du champ augmentées). En effet pendant la systole, non seulement le champ se déplace, mais la différence d'épaisseur du myocarde et le mouvement des fibres qui se contractent rendent très difficile la mise au point sur les vaisseaux sous-jacents.

Inversion du sens de la circulation: Dans un certain nombre de cas nous avons observé des phénomènes d'inversion du sens de la circulation dans des portions vasculaires de différents calibres.

Ce phénomène peut se manifester aussi bien dans les capillaires que dans des vaisseaux de diamètre relativement grand.

Dans certains cas, ces inversions qui sont le plus souvent temporaires, apparaissent spontanément; dans d'autres cas nous les avons vu apparaître à la suite d'une administration d'adrénaline dans le circuit préc coronaire (fig. 3).

Il semble qu'on puisse s'attendre à de telles inversions, si l'on admet qu'un shunt (C ou C') existe entre deux parties d'un circuit, et que se manifeste une inversion du gradient de pression existant au départ entre ces deux parties (fig. 4). L'inversion du gradient de pression pourrait être aussi bien due à une vasoconstriction dans une portion du circuit, qu'à une vasodilatation dans l'autre.

Fluctuations du débit au cours de la révolution cardiaque: Pour les raisons données plus haut, les difficultés de mise au point pendant la systole rendent presque impossible la description des caractéristiques du débit pendant cette phase.

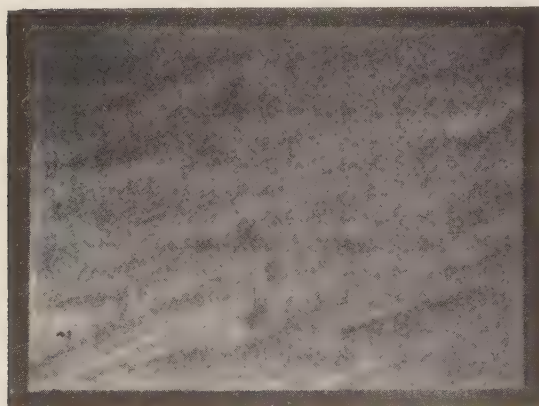


Fig. 4. Au bas de l'image, les hématies disposées en arc de cercle semblent emprunter un shunt

Film 16 mm, 16 i/s

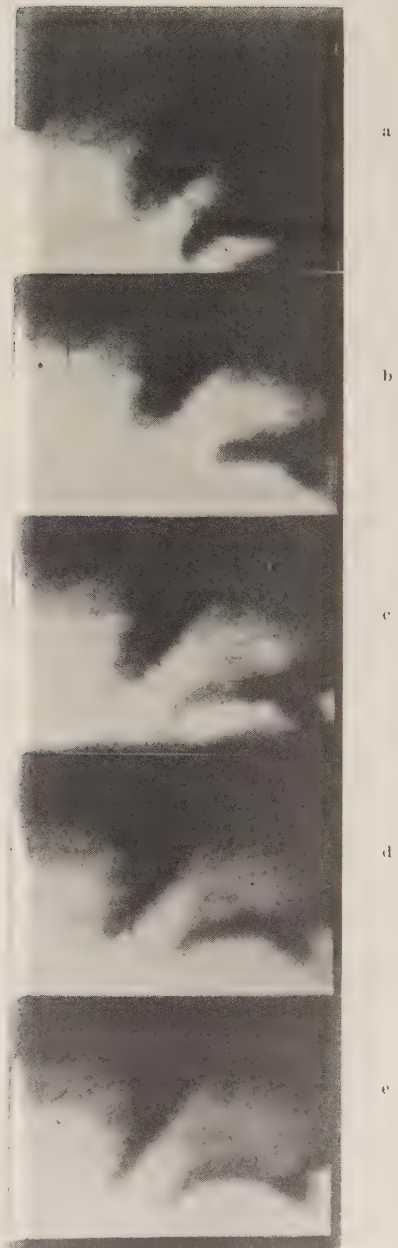


Fig. 5. L'encre de chine ajoutée au liquide de perfusion (image a) montre le reflux qui accompagne une partie de la révolution cardiaque (vaisseaux du centre et de droite: images b et a). Puis l'écoulement s'établit à une vitesse qui n'est pas uniforme dans toute la section du vaisseau (images d et e)

Film 16 mm, 16 i/s (images prises de 2 en 2)

Le liquide de perfusion s'écoule rapidement pendant la diastole et subit un arrêt plus ou moins marqué pendant la systole. Cet arrêt est rendu manifeste par l'existence, à chaque cycle, d'une brève phase au cours de laquelle les hématies deviennent nettement visibles (voir fig. 3).

Perfusion en présence d'encre de chine: Une faible quantité d'encre de chine est ajoutée au liquide de perfusion. On observe une variation du débit coronaire due à la révolution cardiaque. De plus on se rend compte que la vitesse d'écoulement n'est pas uniforme dans toute la section d'un vaisseau et semble particulièrement influencée par les courbures de celui-ci (voir fig. 5).

Variation du calibre des vaisseaux: Nous avons pu observer dans plusieurs cas une variation de calibre de certains vaisseaux au cours de la révolution cardiaque. Ce phénomène peu fréquent ne s'observe pas sur tous les vaisseaux. Il ne doit atteindre que des vaisseaux disposés par rapport aux fibres myocardiques de façon telle que les mouvements de ces fibres puissent exercer une pression dont l'orientation et la puissance soient adéquats pour modifier leur calibre.

Conclusion

L'intérêt essentiel de cette technique est la possibilité d'observer directement sur un cœur vivant les phénomènes cinétiques de la circulation coronaire (sens, vitesse de déplacement, fluctuations éventuelles, vasodilatation, vasoconstriction, mouvements de sphincters, etc. . .).

Le point que nous allons essentiellement essayer d'éclaircir dans les prochaines expériences est l'influence de la révolution cardiaque sur le débit coronaire.

Références

- [1] GREGG, D. E., Coronary circulation in health and disease. 215 Pages. Lea et Febiger, Philadelphie 1950.
- [2] CHARLIER, R., Vasodilatateurs coronariens. P. 17—57. Paris 1962.
- [3] ZWEIFACH, B. W., Functional behavior of the microcirculation. 140 pages. Springfield, Illinois, 1961.
- [4] MARTINI, J., E. CORABŒUF, Observation de la microcirculation coronaire (cœur isolé perfusé). C. R. Acad. Sc. Paris t 258 (1964), p. 3761—3764.
- [5] BOUHOT, G., J. MARTINI, E. CORABŒUF, Adaption de la cinématographie à l'observation de la microcirculation coronaire (cœurs isolés et perfusés). (à paraître en 1965 dans les Comptes Rendus de la Société de Biologie).
- [6] BOUHOT, G., J. MARTINI, E. CORABŒUF, Microcinématographie de la circulation coronaire. Film réalisé par G. BOUHOT et J. MARTINI, déposé à la cinémathèque du Centre Audio-Visuel de l'École Normale Supérieure, St. Cloud, Seine et Oise, France (**prêt gratuit**). — Expériences réalisées au Laboratoire de Physiologie Comparée de la Faculté des Sciences de Paris, Centre d'Orsay, Professeur E. CORABŒUF.

Comptes rendus des séances de la Société de Biologie.

Extrait du Tome 159, n° 5, 1965, p. 1055.

Printed in France.

**Adaptation de la cinématographie
à l'observation de la microcirculation coronaire
(cœur isolé et perfusé de Rat),**

par G. BOUHOT, J. MARTINI et E. CORABOEUF.

Un précédent travail a montré que l'observation de la microcirculation coronaire de cœurs vivants, isolés et perfusés est réalisable dans les conditions suivantes : cœur perfusé par une solution physiologique additionnée d'hématies lavées, paroi myocardique du ventricule droit

éclairée par transparence au moyen d'une lampe de petites dimensions (1,5 mm/4,5 mm) placée à l'intérieur du ventricule droit (1*).

L'intérêt essentiel de cette technique était la possibilité d'observer directement sur un organe vivant les phénomènes cinétiques de la circulation coronaire (sens, vitesse de déplacement, vasodilatation, vasoconstriction, mouvements de sphincters, etc...).

La photographie utilisée alors, comme moyen d'enregistrement, se révéla très vite inapte à rendre compte fidèlement de ces différents phénomènes. Aussi la principale amélioration des conditions d'observation que nous avons essayé de mettre au point a été l'adaptation d'un dispositif cinématographique qui nous parut être le moyen d'enregistrement et d'analyse le plus commode et le plus rationnel. Un film a été réalisé à l'aide de ce dispositif dont l'original est déposé à la cinéma-

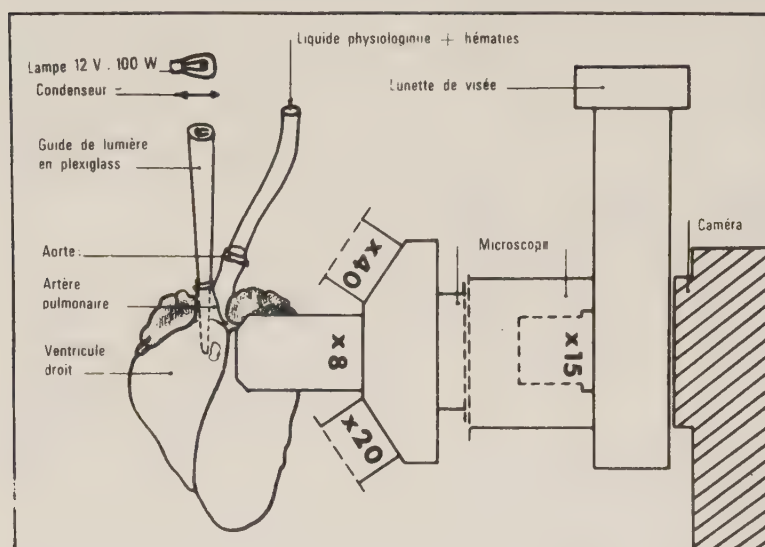


Fig. 1. — Schéma général de l'installation.
Le cœur a été dessiné très agrandi pour qu'en apparaissent les détails.

thèque du Centre Audio Visuel de l'Ecole Normale de Saint-Cloud où il est possible de l'emprunter.

Le passage de la photographie à la cinématographie du réseau coronaire exige une augmentation considérable de l'intensité de l'éclairage de la paroi myocardique, impossible à obtenir à l'aide d'une lampe aussi petite que celle utilisée jusqu'ici. Nous l'avons remplacée par un guide de lumière en plexiglas qui transmet à l'intérieur du ventricule droit la lumière émise par une lampe de forte puissance (100 W 12 V). L'intensité lumineuse ainsi obtenue permet de filmer en format 16 mm à des cadences de 16 à 64 images/seconde, cette dernière se révélant intéressante par les possibilités d'analyse qu'elle peut apporter.

(1*) J. Martini et E. Coraboeuf, *C. R. Acad. Sc.*, 1964, t. 258, p. 3761.

G. BOUROT et coll.

C. R. Soc. Biol., 1965, n° 5.

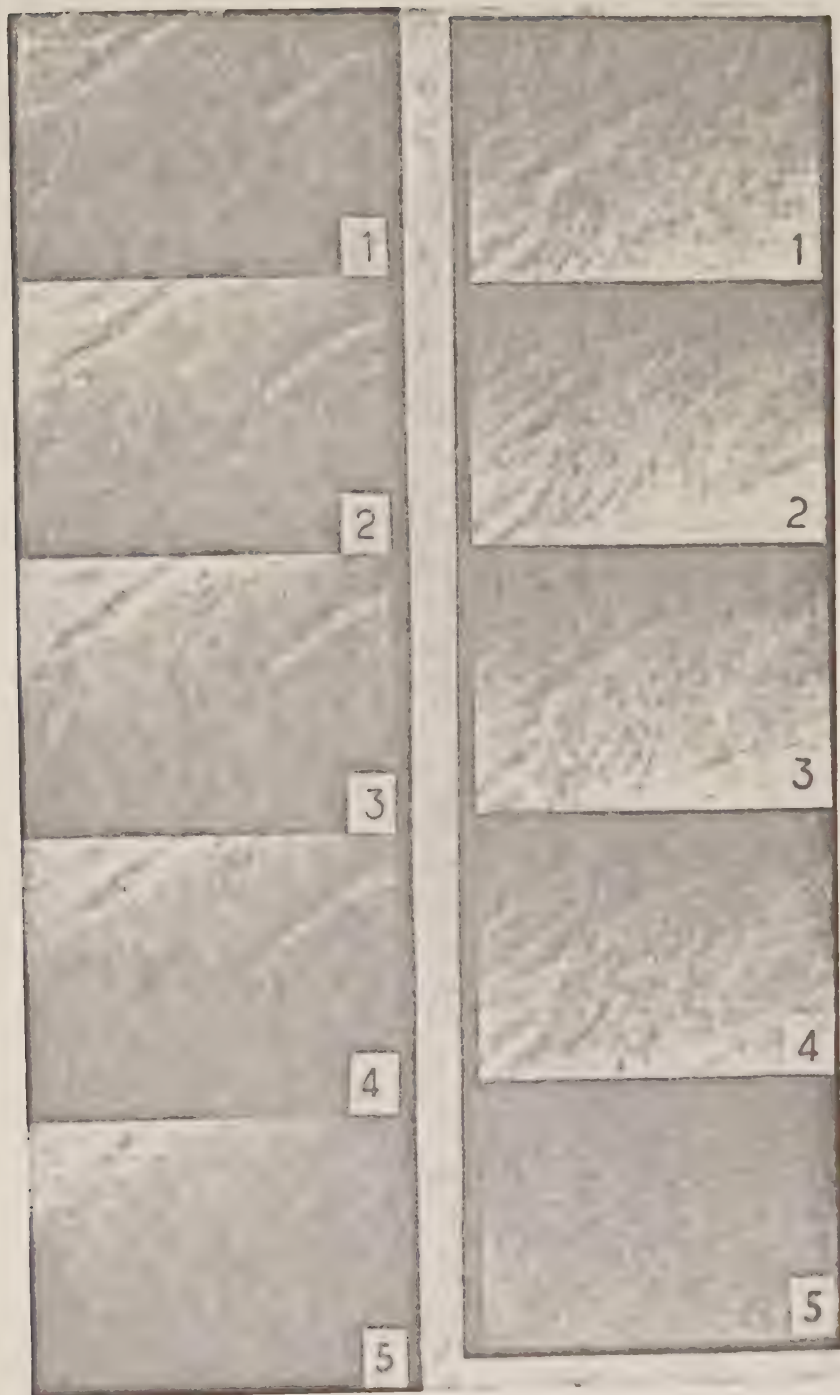


PLANCHE I. Deux séquences d'images extraites du film, prises en fin de diastole (1, 2, 3 et 4) et en début de systole (5) montrant le ralentissement progressif des hématies matérialisé par le raccourcissement de leur tracé (1, 2 et 3) puis leur arrêt transitoire (4).

G. BOUHOT et coll.

C. R. Soc. Biol., 1965, n° 5.

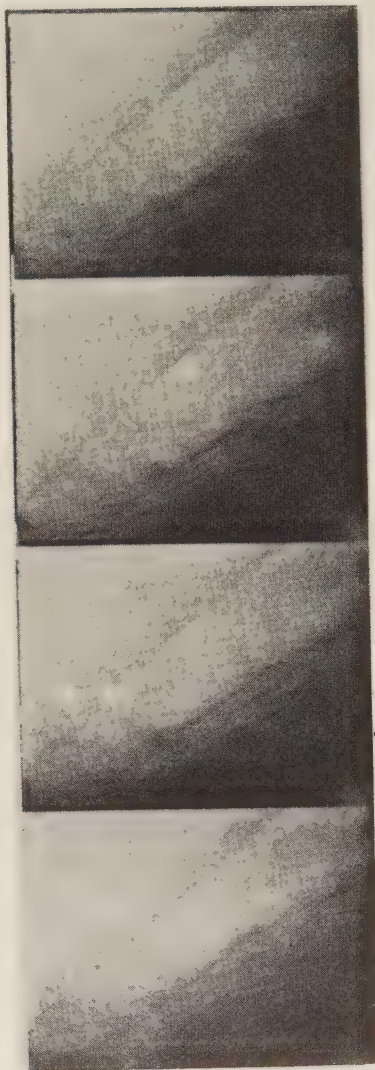


PLANCHE II. Variation de calibre d'une veine superficielle
au cours de la phase initiale de la systole.

L'hétérogénéité de l'éclairage du champ observé, inhérente à la technique, nécessite l'emploi d'une caméra à cellule photorésistante incorporée dans le dispositif optique de prise de vue (voir schéma de l'installation fig. 1).

Résultats. — Les contractions cardiaques constituant un obstacle à l'observation, nous avons réalisé nos premiers essais en employant une solution physiologique privée de calcium. Un tel milieu diminue progressivement l'amplitude des contractions jusqu'à les annuler complètement. Ceci est visible dans la première partie du film où le cœur est soit totalement immobile, soit animé de contractions de faible amplitude.

Avec un milieu physiologique normal, l'observation du réseau vasculaire n'est facilement accessible que pendant la diastole, même dans les cas où il est observé à un faible grossissement (grandeur et

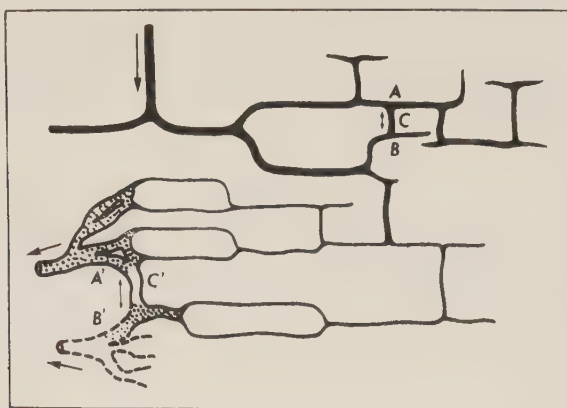


Fig. 2. — Schéma réalisé à partir de nombreuses observations faites sur des coupes de cœurs de Rats et de Cobayes dont le système coronaire est injecté par de l'encre de Chine (2* et 3*).

profondeur du champ augmentées). En effet pendant la systole non seulement le champ se déplace, mais la différence d'épaisseur du myocarde et le mouvement des fibres qui se contractent rendent très difficile toute mise au point sur les vaisseaux sous jacents.

L'observation est limitée à la région superficielle et supérieure du ventricule droit. A ce niveau, le seul accessible actuellement, le réseau coronaire est essentiellement veineux (veines cardiaques antérieures débouchant dans l'oreille droite). Mais il est également possible de distinguer l'irrigation fine superficielle du myocarde.

INVERSION DE SENS DE LA CIRCULATION. — Dans un certain nombre de cas, nous avons observé des phénomènes d'inversion du sens de la circulation dans des portions vasculaires de différents calibres.

(2*) D. Gautier, J. Martini et E. Coraboeuf, *J. de Physiol.*, 1964, t. 56, p. 356.

(3*) J. Martini et E. Coraboeuf, *J. de Physiol.*, 1965, (à paraître).

Ce phénomène peut se manifester aussi bien dans des capillaires que dans des vaisseaux de diamètre relativement grand (voir film). Dans certains cas, ces inversions qui sont le plus souvent temporaires, apparaissent spontanément ; dans d'autres cas, nous les avons vu apparaître à la suite d'une administration d'adrénaline dans le circuit pré-coronaire (voir film).

Il semble qu'on puisse s'attendre à de telles inversions si l'on admet qu'un shunt (C ou C') existe entre deux parties d'un circuit (A et B ou A' et B') et si se manifeste une inversion du gradient de pression existant au départ entre ces deux parties. L'inversion du gradient de pression pourrait être aussi bien due à une vasoconstriction dans des portions du circuit qu'à une vasodilatation dans l'autre (voir fig. 2).

FLUCTUATIONS DU DÉBIT AU COURS DE LA RÉVOLUTION CARDIAQUE. — Pour les raisons données plus haut, les difficultés de mise au point pendant la systole rendent presque impossible la description des caractéristiques du débit pendant cette phase.

Le liquide de perfusion s'écoule rapidement pendant la diastole et subit un arrêt plus ou moins marqué pendant la systole ; cet arrêt est rendu manifeste dans le film par l'existence, à chaque cycle, d'une brève phase au cours de laquelle les hématies deviennent alors nettement visibles (voir Planche I).

VARIATION DU CALIBRE DES VAISSEAUX. — Nous avons pu observer dans quelques cas, une variation de calibre de certains vaisseaux au cours de la révolution cardiaque. Ce phénomène, peu fréquent, ne s'observe pas sur tous les vaisseaux. Il ne doit atteindre que des vaisseaux disposés par rapport aux fibres myocardiques de façon telle que le mouvement de celles-ci peut constituer une pression dont l'orientation et la puissance sont adéquates pour modifier leur calibre (voir Planche II).

En conclusion, la présente note donne un aperçu des possibilités offertes par la microcinématographie du réseau coronaire. Elle montre qu'il est possible de réaliser l'observation directe des petits vaisseaux (artérioles, veinules et capillaires) au cours de la diastole et d'y déceler des modifications fonctionnelles telles que variation de calibre, variation de la vitesse d'écoulement du liquide de perfusion, inversion temporaire de la circulation, etc...

*(Laboratoire de Physiologie comparée, Faculté des Sciences,
Orsay, Seine-et-Oise).*

En corollaire, ces deux publications écrites sont accompagnées par un film regroupant les séquences principales enregistrées pendant le dérours de la recherche et dont l'analyse a conduit aux publications :

ADAPTATION DE LA CINEMATOGRAFIE A L'OBSERVATION DE LA
MICROCIRCULATION CORONAIRE (coeur isolé et perfusé de rat).
Auteurs : G. BOUHOT, Centre Audio-Visuel, Ecole Normale
Supérieure de Saint-Cloud, J. MARTINI, E. CORABOEUF, Laboratoire
de Physiologie Comparée, Faculté des Sciences, Orsay.
Film : 16 mm, noir et blanc, muet, 8 mn, titres français, 1965.

Ces deux publications ont été suivies par une
communication effectuée sous forme filmée :

INFLUENCE DE LA REVOLUTION CARDIAQUE SUR LE DEBIT CORONAIRE
Communication filmée au Congrès de Physiologie Animale -
Louvain - Juin 1965.
J. MARTINI, Laboratoire de Physiologie Générale, Faculté des
Sciences, Orsay - G. BOUHOT, Centre Audio-Visuel, Ecole
Normale Supérieure de Saint-Cloud.
Communication présentée par le Professeur P.H. BENOIT.

Le film de cette communication a été édité en
cinémathèque :

INFLUENCE DE LA REVOLUTION CARDIAQUE SUR LE DEBIT CORONAIRE
Auteurs : J. MARTINI, Laboratoire de Physiologie Générale,
Faculté des Sciences d'Orsay - G. BOUHOT, CAV, ENS, St-Cloud.
Film : 16 mm, N et B, muet, 11 mn, titres français, 1965.

La technique employée non seulement permet d'étudier in
vitro la circulation coronaire par enregistrement cinématographique
(sens et vitesse d'écoulement du liquide de perfusion, inversion
temporaire du sens de circulation, variation de calibre des vaisseaux,
etc), mais elle est aussi applicable à l'étude des modifications
fonctionnelles de la circulation de nombreux organes. Cette technique
peut être perfectionnée dans le détail.

2.1.3/ AMELIORATIONS POSSIBLES DU SYSTEME D'ENREGISTREMENT :

L'ensemble du système utilisé s'est révélé satisfaisant; néanmoins, des améliorations sont possibles :

2.1.3.1/ Au niveau de l'éclairage :

- le guide de lumière en matière plastique peut être remplacé par un faisceau conique de fibres optiques pouvant assurer la collimation du pinceau (B. VALLENCIEN, 1966), mais ce système est onéreux.

- on peut se limiter à perfectionner l'éclairement de la face d'entrée de la baguette. Il suffit d'utiliser, pour illuminer la face d'entrée de la baguette, une source de lumière à lampe quartz-halogène bas voltage 100 ou 150 W associée à un guide souple de lumière (type Cunow). Ce montage souple autoriserait en outre une plus grande mobilité de la baguette.

2.1.3.2/ Au niveau de la prise de vue :

- le ralenti obtenu, 64 images par seconde, semble suffisant. Le passage à 200 i/s seulement, pose déjà de très gros problèmes : caméra sans visée réflex, sans posemètre incorporé, vibrant ...

- par contre, l'utilisation de filtres Wratten 47 ou 36 + 78, rendue possible par l'amélioration du système d'éclairage, permettrait d'augmenter le contraste des hématies par rapport au tissu cardiaque.

2.1.3.3/ Au niveau de la perfusion :

- un pourcentage à déterminer d'hématies pourrait être coloré (par exemple en noir par l'acide osmique), ce qui faciliterait l'étude de leurs déplacements. Il semble néanmoins que la coloration, entraînant une fixation des hématies, nuirait à leur souplesse et de ce fait modifierait leurs déplacements.

- deux autres possibilités peuvent être envisagées :

- 1) l'addition, au liquide de perfusion, de gouttelettes d'huile en émulsion que leur forte réfringence ferait apparaître brillantes ; le diamètre de ces gouttelettes pouvant être contrôlé lors de la préparation de l'émulsion, il pourrait être amené en-dessous du diamètre des

hématies, tout en restant au-delà de la limite de définition du système d'enregistrement,

2) l'addition de particules opaques, de section subsphérique (diamètre moyen 3,5 ou 10 microns), et inertes chimiquement, fer carbonyl (99,5 % de Fe), semble aussi convenir (un système d'agitation du liquide de perfusion serait à prévoir pour éviter la sédimentation des particules). On pourrait de la même façon utiliser des billes de verre.

2.1.3.4/ Au point de vue corrélation temporelle :

L'enregistrement simultané d'un ECG sur l'image de la circulation faciliterait l'interprétation du film, car les phases de contraction et de décontraction du coeur sont difficiles à différencier et à interpréter. Une inscription de l'ECG sur papier est à préférer à une inscription sur oscilloscope, afin d'éviter les phénomènes de stroboscopie dus à l'analyse du déplacement du spot par l'obturateur de la caméra (néanmoins, lors de la combinaison d'une cadence de prise de vue lente et d'une vitesse de balayage faible qui nous intéressent ici, ce phénomène est peu gênant, et le film reste observable en projection).

K.W. BOER (1964) présente un système de ce type à miroir semi-transparent, utilisant une caméra AK 16, mais il en fait une description sommaire. J.G.A. DE GRAAF (1968) décrit un système adaptable à toute caméra, qu'il a réalisé pour filmer simultanément une opération à coeur ouvert et en surimpression l'ECG du patient. Ce système, utilisant un double prisme à face semi-aluminisée, qui évite la formation d'images fantômes par réflexions multiples, paraît parfaitement adapté à l'étude de la microcirculation coronaire et se rapproche du système qui avait été envisagé.

J.J. FIELDS et M. PRINZMETAL (1952) utilisent une solution légèrement différente. L'image d'un coeur de chien filmé à 2 000 i/s occupe les 2/3 du champ, l'inscription de l'ECG utilisant l'autre 1/3. Les deux images sont ici placées côte à côte.

V.A. FROLOV et O.I. KISFLEV (1963) proposent une solution différente. Ils utilisent l'onde R de grande amplitude de l'ECG qu'ils amplifient et qui sert de base de pilotage à l'inscription du temps en marge du film.

2.1.4/ TECHNIQUES COMPLEMENTAIRES :

2.1.4.1/ Prise de vue :

Pour étudier le déplacement des hématies, J. HUGUES (1955) propose une voie toute différente. Son système permet de mesurer la vitesse des hématies et le débit sanguin dans les artérioles et les veinules dont le diamètre est compris entre 15 et 200 microns et qui présentent des portions rectilignes de 50 à 300 microns. L'image du vaisseau est projetée sur la fente d'un diaphragme fixe, derrière lequel un film de 16 mm est entraîné d'un mouvement uniforme perpendiculaire à l'ouverture. L'image du vaisseau est amenée parallèle à la fente, par rotation de la caméra autour de l'axe optique. Les hématies sont enregistrées sous forme de traits. Leur vitesse apparente est égale à la vitesse de déplacement du film multipliée par la valeur de la tangente de l'angle de pente de leur trace par rapport à l'axe du film. Le rapport entre la vitesse apparente et la vitesse réelle dépend uniquement du grossissement utilisé. Deux photographies du vaisseau en début ou en fin de séquence, le film étant arrêté, permettent de calculer le diamètre du vaisseau et, partant, son débit. L'image microscopique est obtenue à l'aide d'un objectif Zeiss x 40 à immersion à l'eau, ce qui facilite les réglages pour les forts grossissements. Avec un objectif x 9, J. HUGUES trouve comme nous que la distance de travail à sec est suffisante. Les pulsations d'une lampe au néon, enregistrées en bordure du film, permettent la lecture du temps en 1/100 de s.

Cette technique n'a été appliquée par HUGUES qu'au mésentère. Elle semble applicable au coeur en diminuant légèrement la définition de l'enregistrement par l'emploi d'une fente plus large que l'image du vaisseau, afin que celle-ci reste visible pendant la plus grande partie possible du cycle cardiaque, malgré les déplacements inévitablement liés à la contraction. L'utilisation de liquide physiologique privé de calcium permettrait alors de diminuer la contraction du coeur et d'opérer dans de bonnes conditions.

Les mesures des vitesses des hématies ont été aussi réalisées lors de l'étude de la circulation dans les alvéoles transparents du poumon. Les ralentis entre 400 et 1 400 i/s obtenus par E. HEYSE (1965) et D. SCHLOSSER et Coll. (1965 a et b) permettent d'effectuer directement des mesures de vitesses.

Un autre type d'étude des artères coronaires est possible en rayons X après injection de contrastants (AMERICAN HEART ASSOCIATION, 1964). Cette technique permet de mettre en évidence, sur l'ensemble de la circulation coronaire, l'effet des drogues et des affections.

C'est également à l'aide des rayons X, grâce à un microscope fonctionnant par projection de rayons X, pourvu d'un tube dont la surface de source est limitée à quelques microns, et pouvant fonctionner de façon continue à 60 KV (voir page 113), que R.L. de C.H. SAUNDERS et Coll. (1965) ont étudié la distribution des capillaires du cerveau humain à l'aide d'opacifiants. Cette technique, qui permet d'obtenir des vues tridimensionnelles de la microcirculation, est applicable au coeur.

La technique de L.M. HART et Coll. (1963) mettant en évidence les écoulements laminaires dans les artérioles et les veines, ainsi que la circulation capillaire dans la rétine de l'oeil par injection ante-orbitale de fluoresceïne et observation par fluorescence, devrait pouvoir être adaptée au coeur. Cette technique a été reprise par L. HYVARINEN et H. NIEMINEN (1967).

Une solution voisine a été utilisée par G. HAUCK et H. SCHRÖER (1965) pour l'étude du mésentère et du duodenum du lapin. Ils injectent dans la circulation un acide fluorochrome (de la sulfoflavine-brillante) et un dérivé de l'acide naphthique se fixant exclusivement sur les γ -globulines du plasma du lapin. L'étude est conduite sous observation au microscope en fluorescence.

F.W. MIDGLEY (1966) indique une méthode pour l'étude in-vitro des vaisseaux cardiaques injectés, par combinaison sur le coeur : d'un éclairage général par transparence, d'un éclairage externe par réflexion et d'éclairages localisés introduits dans les ventricules. Le coeur est rendu translucide par immersion dans une solution de salicylate de méthyle. F.W. MIDGLEY met en évidence la structure du réseau circulatoire sur une large surface et en profondeur. De telles observations pourraient être corrélées avec les enregistrements cinématographiques qui n'intéressent que de faibles étendues.

L.E. GELIN (1965) étudie le déplacement in-vivo des globules rouges dans le tissu conjonctif bulbaire qui recouvre la sclérotique, par photographies isolées au flash électronique avec des éclairs d'une milliseconde.

Le passage à un système stroboscopique permet une mise en évidence claire des hématies et de leurs déplacements, c'est ce qu'ont réalisé R.E. WELLS et Coll. (1964), qui ont mis en évidence, dans la circulation capillaire conjonctive de l'oeil, un écoulement microturbulent sans effet lamellaire. En observation visuelle, l'écoulement semble lamellaire. Enregistré à 2 000 i/s, il apparaît microturbulent (les hématies changeant continuellement de filets liquides). Seul le cinéma a permis de déceler ce phénomène inattendu. Dans l'étude du coeur, un fond en éclairage continu serait néanmoins intéressant pour matérialiser par une traînée le sens de déplacement des hématies.

P.I. BRÄNEMARK (1966) indique des systèmes permettant d'observer chez l'homme des microcirculations in-vivo. Les études par épiscopie externe, et celles réalisées par immobilisation d'un échantillon dans une chambre d'observation à monture en titane (métal toléré par les tissus), montage qui permet une résolution de 1 micron, sont à remarquer.

C.L. SCHNEIDER et Coll. (1967) décrivent une installation très complète destinée aux études par épiscopie de la circulation capillaire in-vivo dans les poumons. Dès 1965, M. STEINHAUSEN a conduit des études similaires sur le foie des rats et la papille rénale du hamster doré, après intensification par des colorants.

A. MARCKMANN (1966) a réalisé des études semblables sur la peau du rat, sans coloration, avec des grossissements échelonnés de $\times 340$ à $\times 1\ 000$ et une résolution atteignant 2,2 microns.

De telles études in-vivo semblant très souhaitables, l'épiscopie pourrait être étendue, les chambres d'observation n'étant pas utilisables sur le coeur.

Il semble plus simple néanmoins de s'orienter vers les caméras de télévision en circuit fermé très sensibles (4×10^{-4} lux) et de conduire les observations par transillumination. Le seul facteur pouvant entraver de telles recherches reste le traînage des tubes vidicon (A.C. DAWE, 1963 ; G. BOUHOT, 1968 b). J.G. ZIMMER et Coll. (1965) ont appliqué avec grand succès une telle méthode à l'étude de la circulation capillaire superficielle de la peau de l'homme. Les hématies peuvent être individualisées dans les boucles capillaires. Le diamètre et le débit des capillaires peuvent être mesurés.

C.A. WIEDERHIELM (1963) mesure en continu le diamètre des vaisseaux par télémicrovision. Pendant l'analyse de l'image, un voltage homologue, proportionnel au temps nécessaire pour que le spot parcoure le diamètre du vaisseau, est généré et enregistré. La précision est de $\pm 3,7$ microns pour la mesure de tubes capillaires en verre étagés de 15 à 150 microns, avec une dérive par heure inférieure à 3 microns. S. BAFZ (1966) utilise une technique analogue.

2.1.4.2/ Analyse des films :

L'emploi d'un projecteur d'analyse, type Kodak Analyst aurait été d'un grand secours. R. ROBINEAUX et C. MONCEL (1969) indiquent un très intéressant montage d'un projecteur semblable, Bell and Howell type 173 modifié, qui permet au cours de l'analyse par projection sur un écran, soit de réaliser des dessins par projection des images élémentaires du film, soit d'obtenir des agrandissements des images désirées.

Les applications physiologiques de cette technique et l'essai des améliorations possibles dépendent du chercheur impliqué et dépassent le cadre qui nous est propre : l'élaboration d'une technique de recherche. Ces travaux sont poursuivis au Laboratoire de Physiologie Générale à Orsay à l'aide d'un ensemble de techniques associées.

A partir de la même époque, dès 1964, la réalisation de Films d'Enseignement Supérieur nous a conduit à mettre au point d'autres techniques de recherche en cinéma scientifique. Les solutions utilisées pour les principales d'entre elles sont décrites ci-dessous.

2.2/ FLUORESCENCE INDUITE PAR LES ULTRA-VIOLETS :

Pour le film "Introduction à la Géologie sous-marine" (1964), l'enregistrement d'une séquence par fluorescence induite sous excitation en ultra-violet a été nécessaire. L'enregistrement a été effectué le plus près possible de 25 i/s, afin de minimiser la cadence des battements dus à la stroboscopie de l'émission de la lampe à vapeur de mercure à haute pression par l'obturateur de la caméra. Le cycle de battement d'environ 2 secondes n'affecte que le fond bleu-violet du sujet volontairement sousexposé. Cette sousexposition est voulue, pour que le fond ne soit enregistré que dans le pied de la courbe caractéristique de sensibilité de l'émulsion, afin que les variations de l'illumination soient mal reproduites et de ce fait amoindries. L'enregistrement se faisant en fluorescence, l'UV doit être éliminé vers la pellicule. L'emploi, pour l'enregistrement, d'un objectif Kinoptik f/2 de 50 mm, dont la somme des lentilles constitue une épaisseur de verre considérable, est suffisant pour absorber le rayonnement ultra-violet diffusé vers le film.

2.3/ CINEMATOGRAFIE DE L'ECRAN D'UN OSCILLOSCOPE :

Dans certains films de Physiologie comme "Microélectro-physiologie du coeur embryonnaire de poulet en culture organotypique", réalisé en 1964, l'enregistrement des traces d'oscilloscope a posé des problèmes. Pendant l'ouverture de l'obturateur de la caméra, durant 20 ms, un segment de la trace directe du spot est enregistré (la longueur de ce segment est fonction de la vitesse de balayage). Pendant les 20 ms suivantes, l'obturateur est fermé et le spot n'est pas enregistré. Pendant l'ouverture suivante de l'obturateur, la rémanence du segment non enregistré, et un nouveau segment de la trace directe du spot sont enregistrées ... et ainsi de suite. Le tracé obtenu lors de la projection correspond à une

succession de tirets brillants et sombres, incompatibles avec la démonstration pédagogique. Si l'enregistrement est sous-exposé, on n'observe plus que le passage haché d'un point lumineux.

Pour pallier cet inconvénient, la forme en S de la courbe caractéristique de noircissement de la pellicule en fonction de la lumina-tion est encore utilisée. La pellicule employée, très sensible, Agfa Umker ISU 400 ASA, possède une forte protection anti-halo. Cette condition est très importante pour que le spot ne soit pas entouré par un halo de diffu-sion. Cette pellicule, associée à l'emploi d'un objectif ouvert à $f/2$, permet d'effectuer les enregistrements dans le plateau sommital de la courbe caractéristique. Les luminations ne sont pas respectées : trace directe du spot et rémanence produisent un effet égal sur la pellicule. La stroboscopie est ainsi annihilée, la succession des tirets est confondue, la trace apparaît continue. Lorsqu'un halo existe autour du spot, il est alors stroboscopé, car sa luminence le place dans la partie rectiligne de la courbe, d'où l'intérêt d'une pellicule fortement anti-halo. Au tirage, ces prises de vues, effectuées en noir et blanc, sont colorées à la demande par des filtres, lors de l'édition de films en couleur. Grâce à ce procédé, les séquences d'oscilloscope sont très lisibles à la projection.

Pour les grandes vitesses de balayage, aucun problème ne se pose, le spot repassant plusieurs fois sur sa trace pendant l'exposition.

Les oscilloscopes à mémoire ouvrent un nouveau domaine pour la cinématographie en couleur. C'est le procédé qui a été employé pour le film "L'activité du myocarde et les courants ioniques transmembranaires" (1970). En effet, la prise de vue directe en couleur permet de respecter la couleur verte de la trace, et la couleur habituelle rouge du "graticule", lorsque celui-ci est utilisé. Dans le cas de la coloration a posteriori d'un film noir et blanc : trace, tache du spot et "graticule" apparaissent de la même couleur à la projection. Du point de vue pédagogique, le fait d'enregistrer successivement des phases de l'évolution d'un phénomène, tout en conservant l'ensemble des traces en fin d'enregistrement, est très explicite et évite souvent le recours à une animation, qui bien que simple, serait onéreuse.

2.4/ ACCELERE EN CINEMACROGRAPHIE :

Dans le film "Reconstruction expérimentale du tube chez l'hermelle Sabellaria Alveolata L'", présenté en illustration à la soutenance de thèse de J. VOVELLE (1965), le problème du "vue par vue" en cinémacrophie a dû être résolu afin d'obtenir un accéléré à la projection. La plupart des séquences de l'étude du tube de l'hermelle ont été enregistrées en cinémacrophie en format 35 mm au rapport x 0,8, à la cadence de 1 image toutes les 2,5 secondes (soit une accélération dans le temps à la projection de 60 fois). L'hermelle n'étant pas influencée par la lumière, un éclairage constant a été employé pendant les séquences de prises de vues (6 heures consécutives). L'intervallomètre mécanique simple utilisé est entraîné par un moteur synchrone. I.A. MOON et F.A. EVEREST (1967) font une très bonne analyse de tous les systèmes existants, dont beaucoup sont plus perfectionnés (assurant les commandes de la caméra et de l'éclairage qui peut ainsi être éteint entre les prises de vues).

2.5/ ACCELERE EN CINEMICROGRAPHIE :

Dans le film "Structure de la Cellule", présenté en double bande à la séance inaugurale du Congrès de Microscopie Electronique à Strasbourg (1964), les plans de transition sont également effectués en accéléré. Les prises de vues ont été réalisées avec un Cinémicroscope Zeiss modifié (en particulier, par l'adjonction d'une chambre à température constante, A. POLICARD et A. COLLET, 1952). Les images (de globules blancs d'axolotl, de mitochondries, de la cyclose d'une cellule d'oignon, et de la phagocytose) n'impliquant pas une coloration définie, les prises de vues en contraste de phase ont été effectuées par illumination avec une lampe à vapeur de mercure à haute pression.

Un système plus évolué, permettant d'obtenir, par l'usage d'un flash électronique répétitif une température de couleur déterminée, est décrit par A. HERBERT et A. FISCHLER (1967).

Entre les prises de vues, sur l'installation utilisée, un obturateur mécanique interrompait le passage du flux pendant les périodes d'attente entre les obturations (1 i/s) afin d'éviter la détérioration possible de la préparation. Ce problème a été très débattu, et il ressort des travaux qu'il s'agit souvent de cas particuliers (J. FREDERIC, 1954 ; R. ROBINEAUX, 1957 a et b ; E. LUCEY, 1957 ; J. PAINLEVÉ, 1958).

Un problème s'est posé pour l'étalonnage des rushes⁺ des prises de vues de lames colorées. Dès les essais, une charte gris neutre à l'échelle microscopique a été réalisée. Une charte d'exposition d'agrandisseur Kodak a été photographiée sur Microfile à 4 échelles de reproduction : images de 6, 3, 2 et 1 mm de diamètre, qui ont été montées entre lame et lamelle. Ce sujet test a permis de présenter au laboratoire un film avec charte de gris en début ou en fin de séquence, et d'obtenir des couleurs conformes à la réalité lors du tirage. H. UPENIEKS (1965) et A. SCHAEFFER (1964) suggèrent des montages du même genre, mais le premier n'est applicable qu'à la photomicrographie en grand format, et le deuxième fait appel à un sujet standard complexe.

N.L. MEYERS et C.L. SCHNEIDER (1967) indiquent un système très perfectionné, permettant de suivre les déplacements du sujet. Nous avons dû nous contenter de recadrages successifs, seules manoeuvres effectuelles à la main entre les expositions.

2.6/ UTILISATIONS ULTERIEURES DE CES DIFFERENTES TECHNIQUES :

Ces différentes techniques ont été ultérieurement réutilisées dans plusieurs films : "Introduction à la Géophysique off-shore, le Tunnel sous la Manche", "Enregistrement de l'Activité électrique et mécanique du coeur de grenouille in-situ", "Transferts d'énergie dans la Cellule" : I Photosynthèse, II Respiration"...

Au point de vue recherche, nous nous sommes alors orienté vers l'utilisation de la télévision en circuit fermé.

La télévision en circuit fermé est devenue en recherche soit le complément, soit le concurrent du cinéma et de la photographie. Elle permet des investigations dans des milieux hostiles à l'homme (télévision sous-aquatique, rayons X), étend le domaine de perception

+ Tirage d'essai à partir du négatif du film, permettant de vérifier la qualité de celui-ci.

(infrarouge) et rend possible l'observation de phénomènes là où la présence de l'homme est impossible (fonctionnement du coeur d'un réacteur, tirs de rockets)... parfois même la caméra est détruite pendant le décours du phénomène observé (explosion atomique).

3/ UTILISATION EN RECHERCHE DU CIRCUIT FERME
DE TELEVISION COMME MOYEN D'INVESTIGATION

3.1/ TELEVISION SOUS-AQUATIQUE

3.1.1/ INTRODUCTION

Le premier film concernant des animaux sous-marins semble avoir été réalisé par E.J. MAREY (1890) sur différents poissons et en particulier sur les raies. Les expériences se déroulaient en aquarium, à la station expérimentale du Parc des Princes. A Possilippo très de Naples, il opérait de la même manière. E. MUYBRIDGE avait auparavant réalisé les premières études de mouvement de poissons, à Palo Alto, à l'aide de son système photographique.

L. BOUTAN réalisa en France les premières prises de vues scientifiques sous-marines en éclairage naturel (1893), puis artificiel (1895) (cf. p. 20).

Le Cdt. LE PRIEUR, en 1935, lors de la divulgation de son scaphandre autonome, présente un caisson pneumatique destiné à un appareil photographique Contax ou à une caméra de 16 mm, mais s'intéresse peu à la prise de vue, bien qu'ayant réalisé en 1934 les premières prises de vues sous-marines en couleurs.

Le Cdt. COUSTEAU met au point son scaphandre autonome et réalise en 1936 ses premiers essais en cinéma sous-marin en 16 mm, ils sont infructueux. Peu à peu, à force de bricolages, la qualité des images s'améliore. Vers 1942, la caméra utilisée est une Kinamo Zeiss 35 mm associée à un objectif Hugo Meyer Kinoplasmat d'ouverture f/1,5. J.Y. COUSTEAU, P. TAILLEZ et F. DUMAS réalisent leur premier film "Par 18 mètres de fond". J.Y. COUSTEAU emploie ensuite une caméra Leblay équipée d'un Sonnar f/1,5, avec laquelle il réalise "Epaves" et "Paysages du silence". Il passe ensuite à la couleur avec "Carnet de plongée" et "Feu sous la mer", film dans lequel il fait les premiers essais d'éclairage auxiliaire immergé. Il entreprend en parallèle la réalisation de caméras automatiques embarquées.

J.Y. COUSTEAU et D. REBIKOFF d'une part, puis H.E. EDGERTON et R. STENUIT deviennent rapidement les maîtres en prises de vues sous-marines.

"Le Monde du Silence" de J.Y. COUSTEAU, 1956, révélera au grand public les fonds sous-marins.

Un article de 1952, concernant l'emploi de la télévision en circuit fermé pour des observations sous-marines, publié par W.D. CHESTERMAN et W.R. STAMP, met en lumière les études militaires réalisées auparavant.

A cette époque, l'Amirauté Britannique effectuait couramment des prises de vues en cinéma 35 et 16 mm et à l'aide de 4 caméras de télévision. Enfermées dans des caissons de 50 cm de diamètre sur 75 cm de long, elles pouvaient être immergées à 90 mètres à l'aide d'un câble porteur en acier. Le câble électrique de raccordement comportait 28 conducteurs (3 cm de diamètre). Des essais étaient tentés à 300 mètres, les images des observations enregistrées par photographie, la kinescopie posant trop de problèmes. Toutes les télécommandes étaient prévues.

3.1.2/ PROBLEMES POSES PAR LA PRISE DE VUE SOUS L'EAU :

Ces problèmes sont variés et conditionnent la conception du matériel de prise de vue (G.M. BREWER, 1962 ; S.Q. DUNTLEY, 1963 ; H.U. RICHTER, 1963 ; E. MERTENS, 1966 ; C.E. ENGELS, 1968 ; G. BOUHOT, 1968).

Dans le caisson étanche, l'appareil de prise de vue est enfermé derrière un hublot à faces parallèles. Lorsque le pinceau lumineux passe de l'eau dans l'air du caisson, il est fortement réfracté par le dioptre plan créé au niveau du hublot. Ce dioptre "joue le rôle d'une puissante lentille" (D. REBIKOFF, 1968), ce qui entraîne un certain nombre de conséquences optiques.

La différence de marche d'un pinceau passant de l'air (trajet x_1) dans l'eau (trajet x_2) est dans le rapport des indices des milieux : n_2 indice de l'eau 1,33 et n_1 indice de l'air égal à l'unité ; soit dans le rapport 4/3.

Angle de champ : La surface de séparation plane réfracte les rayons lumineux, et fournit de l'objet immergé une image virtuelle reprise par l'objectif. La variation du champ de prise de vue qui en découle est dans le rapport des indices, il est réduit aux 3/4.

En conséquence, en 24 x 36 mm par exemple, le champ apparent diagonal d'un objectif de 35 mm de distance focale passe de 64° à 48°, soit à fort peu près l'angle de champ d'un objectif de 50 mm de distance focale utilisé dans l'air (46°). Il faut donc utiliser sous l'eau un objectif grand angulaire pour conserver un champ acceptable.

Distance de mise au point : De la même façon, la distance apparente d'un objet sous l'eau apparaît 25 % plus courte qu'elle n'est en réalité :

$$x_2 = \frac{3}{4} x_1.$$

Il faut remarquer que, si l'observateur est immergé, ses yeux sont situés derrière le hublot plan du masque, donc la distance apparente d'un objet est la même pour lui. Il lui faut donc régler l'objectif sur la distance apparente. Celle-ci est difficile à apprécier. Un objectif grand angulaire dont la profondeur de champ pour une ouverture donnée est supérieure à celle d'un objectif de focale plus longue, est donc préférable : les erreurs de mise au point sont moins sensibles, et, lorsque la mise au point est bien réglée, la profondeur de champ est plus étendue.

Taille d'un objet : Pour un observateur terrestre, un objet sorti de l'eau n'a plus de la même façon que les 3/4 de sa taille apparente sous l'eau.

Distance focale : L'angle de champ est réduit de 25 % (3/4), ce qui correspond à un accroissement apparent de la distance focale de 33 % (4/3), et entraîne une diminution de la profondeur de champ pour une ouverture donnée (compensée en partie par la diminution de l'ouverture effective). Il y a donc intérêt à utiliser sous l'eau un grand angulaire pour se retrouver dans les conditions (angle de champ et profondeur de champ) d'un objectif normal utilisé dans l'air (un objectif normal, ou standard, est par définition un objectif dont la distance focale est égale à la diagonale de l'image enregistrée).

Ouverture effective : Comme la distance focale résultante est plus longue dans le rapport 4/3, l'ouverture relative, c'est-à-dire la valeur du diaphragme affiché, est diminuée de 1 division. Il suffit de lire l'échelle des valeurs de diaphragme en la décalant de 1 cran.

Distorsion en coussinet, vignetage, courbure de champ, aberration chromatique latérale, astigmatisme dus à la réfraction du pinceau lors de son passage de l'eau dans l'air, limitent le champ de bonne netteté à environ 30°.

Le passage du pinceau lumineux à travers l'eau entraîne un certain nombre de conséquences :

Transparence : Dans les eaux les plus claires de Méditerranée, dans des conditions exceptionnelles, l'oeil perçoit sous forme d'image peu contrastée (contraste minimum perceptible 0,02) des sujets distants de 100 mètres. Les pellicules n'enregistrent des clichés valables que jusqu'à une dizaine de mètres (contraste minimum nécessaire environ 0,5). En règle générale, il ne faut pas photographier des sujets placés à plus de la moitié de la distance de perception de l'oeil.

Diffusion : Les nombreuses particules organiques (de loin les plus fréquentes) et inorganiques en suspension dans l'eau de mer diffusent la lumière. Les longueurs d'ondes les plus diffusées sont fonction du diamètre des particules en suspension, l'effet maximum étant dû au plancton. Cette lumière diffuse apparaît comme un brouillard et diminue le contraste apparent. Il faut donc, pour un rapport de reproduction donné, se placer le plus près possible du sujet pour diminuer le nombre de particules présentes entre le sujet et le hublot, et utiliser un objectif grand angulaire. Aucun des moyens essayés (chimique, physique, électronique) ne permet la précipitation de ces particules.

Transmission : L'eau joue le rôle d'un filtre qui modifie la balance des couleurs, absorbant préférentiellement les radiations rouges. Elle joue le rôle d'un filtre sélectif. A une profondeur de 1 mètre, les radiations infra-rouges sont absorbées, il ne subsiste plus que 50 % des radiations rouges, qui disparaissent presque totalement à 10 m : il en subsiste 2 %. A 15 m, les radiations orange disparaissent. A 20 m, les radiations rouges, orange, jaunes et violettes sont absorbées. A 30 m, il ne subsiste que des radiations bleues centrées de 4800 à 5100 Angströms, l'oeil ne reconnaît plus de couleur, Sans éclairage artificiel, l'homme ne voit plus à partir de 100 à 300 mètres. La couleur bleue de l'eau de mer, centrée sur 4500 Angströms, est due à la diffusion de Rayleigh.

Chemin de lumière : En pratique, pour évaluer l'absorption, on additionne la distance parcourue par la lumière de la surface au sujet, puis du sujet à l'objectif : c'est le chemin de lumière. En eau claire, la perte de lumière est de 1 valeur de diaphragme pour 1 mètre, et en eau légèrement trouble, de 3 valeurs de diaphragme ; on compte ensuite en pratique 1 valeur de diaphragme par 3 mètres de parcours.

Incidence de la lumière naturelle : La réfraction de la lumière, lors de son passage de l'atmosphère dans l'eau, fait qu'un sujet reçoit surtout de la lumière provenant d'un angle solide de 97° par rapport à sa verticale. Plus le soleil est haut au-dessus de l'horizon, moins la perte de lumière par réflexion est importante (3 % de 0 à 45° , 12 % pour 70° , 35 % pour 80°) lorsque l'eau est calme. Les interfaces thermiques dans l'eau de mer jouent un grand rôle dans la distribution de cette lumière et leur effet se superpose à l'absorption et à la diffusion.

Incidence de la lumière artificielle : La source de lumière artificielle ne doit pas éclairer la partie du cône d'eau situé devant l'objectif qui correspond à son angle de champ.

En effet, les particules claires en suspension, et surtout les bulles, ne doivent pas être éclairées. En raison de la réfraction, si elles sont éclairées et distantes de moins de 30 cm, elles jouent le rôle de sources lumineuses ponctuelles secondaires et provoquent la formation, dans le plan de la pellicule, d'images parasites du diaphragme, variant de la taille d'un point à une tache supérieure au diamètre de l'ouverture du diaphragme.

Problèmes photographiques : Exposition, Vitesse d'obturation, Cadrage, Contraste des émulsions, Filtrage ... n'interviennent pas en télévision ; néanmoins en raison des difficultés inhérentes au choix d'un film en couleur pour les prises de vues sous-marines, l'article de W.F. SWANN (1968) peut être signalé.

Il apparaît à ces lignes que former un scientifique à la photographie ou au cinéma sous-marin n'est pas chose facile. Mais, comme le fait remarquer R. STENULT (1967), il est plus facile de former un homme-grenouille, ce qui demande 3 semaines, que de former un scientifique, ce qui demande 25 ans. Il suffit alors de le former à la prise de vues.

Néanmoins après cette formation, seule la zone de 0 à 40 mètres (et même moins dans l'Atlantique et la Manche) est d'accès facile en scaphandre autonome. La zone de 40 à 60 mètres est réservée aux sportifs entraînés. Au-delà, il s'agit du domaine des professionnels, jusqu'à 500 mètres.

La photographie et le cinéma automatiques peuvent être pratiqués dans cette zone ^{et au-dessous,} mais le développement différé des pellicules fait préférer la Télévision en Circuit Fermé.

3.1.3/ CONCEPTION D'UN SYSTEME SOUS-AQUATIQUE :

Différentes publications ont conduit à la conception du système utilisé au Centre Audio-Visuel, d'autres ont ensuite corroboré les observations effectuées (D. REBIKOFF, 1953 ; ANONYME, 1955 ; PYE Ltd, 1955 ; G.M. BREWER, 1962 ; R.E. CRAIG et Coll., 1963 ; E. MERTENS, 1966 ; D. REBIKOFF, 1968).

Un équipement Photographique ou Cinématographique sous-marin (les plus étudiés), ainsi que les systèmes utilisant un Circuit Fermé de Télévision, doivent répondre à un certain nombre de critères, dus aux conditions physiques dans lesquelles le matériel travaille.

Lors de l'établissement du "cahier des charges" du système CAV, c'est surtout sur les équipements photographiques et cinématographiques que des données avaient été publiées :

Résistance à la pression : Un facteur de sécurité 2 est généralement utilisé. Pour les petites installations, le système du caisson rigide est employé, même au-delà de 300 mètres et est préféré au système à équipression qui nécessite un appareillage annexe. Le caisson rigide, bien conçu, reste le dispositif le plus simple. Ainsi, pour le système CAV, prévu pour une immersion maximum à moins 100 mètres, soit à une pression hydrostatique de 10 kg/cm^2 (1 kg/cm^2 par 10 mètres), l'épreuve en caisson s'est déroulée à 20 kg/cm^2

Résistance à la corrosion : Plus le système doit être immergé longtemps, plus ce problème doit être soigneusement étudié, particulièrement en ce qui concerne l'association des métaux. Le système CAV n'étant pas prévu pour une immersion continue, le caisson est réalisé en alliage léger, ses annexes et le berceau, en fer.

Résistance aux chocs : La protection contre les chocs, pour le travail en mer, doit être très soignée. Une suspension semi-rigide de l'ensemble électronique a finalement été choisie. L'ensemble du système doit en outre être conçu pour que le passage surface de l'eau/bateau soit aisé. C'est le

moment le plus crucial des manoeuvres en mer. L'usage d'un double élingage en V limite les débattements du berceau lors de la remontée.

Hydrodynamisme et Flottabilité Neutre : Ces problèmes très importants ne se posent que dans le cas où la caméra est manoeuvrée par des plongeurs, des ailerons aident alors à la stabilité générale de l'ensemble. Dans l'installation du CAV, les 2 poignées latérales de transport servent éventuellement à manoeuvrer la caméra dans ces conditions, mais sa flottabilité négative ne facilite pas les mouvements. De plus, l'alimentation en 220 V / 50 Hertz n'est pas conçue pour tenter les plongeurs. D. REBIKOFF (1953, 1968) est un ardent défenseur des systèmes intégrés sans câbles électriques de liaison, mais en télévision ce principe est inapplicable.

Autopropulsion : Ce problème ne se pose que lorsque les prises de vues sous-aquatiques sont plus particulièrement réalisées dans un but commercial. Le déplacement de la caméra permet d'effectuer des travellings mécaniques (la réalisation de travellings optiques par utilisation d'un objectif à focale variable est trop difficile sous l'eau, et l'on préfère utiliser des objectifs grands-angulaires).

Télécommandes : Dans le système FYE Ltd (1955), toutes les télécommandes optiques sont prévues : changement des 3 objectifs montés sur tourelle, mise au point, réglage du diaphragme. Dans ce système, le plongeur manoeuvre la caméra que l'observateur commande optiquement de la surface. Cette caméra, pourvue de 2 larges ailerons verticaux anti-vrillage, est aussi prévue pour travailler suspendue à un câble jusqu'à moins 1 100 mètres. L'éclairage, réalisé par un projecteur unique, est aussi télécommandé par un moteur permettant de varier sa focalisation, de l'éclairage spot à l'éclairage d'ambiance. Le câble de jonction comporte, en raison de toutes ces télécommandes, 28 conducteurs. Le système conçu au CAV est très éloigné de ce type de matériel. Les conditions du travail en mer font préférer des réalisations simples, robustes et automatiques. Le couplage caméra de Télévision/caméra de Cinéma a été aussi écarté car il conduit à des installations de grandes tailles, très onéreuses, difficiles à mettre en oeuvre.

3.1.4/ CONCEPTION SPECIFIQUE D'UN CIRCUIT FERME DE TELEVISION POUR USAGE SOUS-AQUATIQUE

Automatisme :

Comme dans les systèmes conçus par REBIKOFF (1953,1968), le plus grand automatisme possible a été recherché.

Les avantages inhérents à l'emploi d'un objectif grand angulaire ont été passés en revue : angle de champ, précision de la mise au point, profondeur de champ et diminution de l'effet néfaste des particules en suspension dans l'eau (ce problème est particulièrement important, A.S. LODKIN, 1962).

L'utilisation d'un objectif Kinoptik TGA (Très Grand Angulaire) de 5,7 mm de distance focale est entièrement satisfaisant :

- champ diagonal aérien 103° , champ sous-aquatique derrière le hublot plan 75° (soit l'équivalent d'un objectif de 28 mm de focale utilisé en 24 x 36 mm en photographie normale).
- la sensibilité du Vidicon étant connue, 1 600 lux sont nécessaires à $f/5,6$ pour obtenir la meilleure image possible, les projecteurs ont été conçus en conséquence ; après réglage du diaphragme de l'objectif sur $f/5,6$, le jeu combiné du réglage manuel à partir de la surface de la puissance des projecteurs et du réglage automatique de sensibilité de la caméra équivalant à 6 valeurs de diaphragme, permet de faire face à toutes les conditions d'observation. C'est ce qui avait été prévu, le câble électrique ne comporte pas de conducteur pour la télécommande du diaphragme.
- de la même façon, la mise au point n'est pas télécommandée ; à $f/5,6$ le réglage de mise au point sur 50 cm assure, en raison de la définition limitée du tube Vidicon (500 points par ligne), une image de netteté équivalente à partir de 15 cm (face antérieure du système transparent de protection du hublot), jusqu'à la limite de visibilité due à la turbidité des eaux (en général 5 à 10 mètres).
- les gros plans étant réalisables par travelling mécanique de la caméra, la présence d'une tourelle d'objectifs et de sa télécommande n'a pas été envisagée.
- le nombre de conducteurs du câble électrique a pu être réduit à 7 lovés autour du câble coaxial video. L'installation PYE Ltd (1955) en comportait 28.

Optique :

Deux solutions couramment utilisées ont été écartées :

- le préobjectif Ivanoff (IVANOFF et CHERNEY, 1960) : il s'agit en réalité d'un hublot composé par une lentille convergente et une lentille divergente qui suppriment le dioptré créé par un hublot plan. Ce système, équivalent à une lunette de GALILEE inversée, restitue à l'objectif les caractéristiques qu'il possède lorsqu'il est utilisé dans l'air. La profondeur de champ est de ce fait presque doublée pour une même ouverture (l'usage d'un hublot plan réduit la profondeur de champ dans le rapport 3/4, alors que le préobjectif l'augmente dans le rapport 4/3). Les aberrations dues au dioptré disparaissent. En cinéma et en photographie, les images sont fortement améliorées au-delà d'un champ diagonal de 30°. Un champ de netteté parfait sur 92° est obtenu par la Navy avec ce système. La définition atteint 100 lignes/mm. Le champ diagonal sur le sujet est double de la distance objectif-sujet, ce qui est très favorable. En cinéma 16 mm, avec un objectif de 9 mm de focale, fortement diaphragmé, le champ de netteté s'étend de 5 cm à plus de 10 m (D. REBIKOFF, 1968). Des systèmes analogues au préobjectif Ivanoff ont été préconisés : Color Correcting Lens THORNDIKE Lamont Geological Observatory (G.M. BREWER, 1962), Hublot Plan Corrigé (R.E. CRAIG et Coll., 1963). En raison du prix de revient de ces systèmes et de la définition limitée du tube Vidicon, cette solution a été écartée.

- le "cône d'eau" : ce système, fixé à l'avant de l'objectif, permet de remplacer l'eau de mer contenant des particules en suspension par de l'eau distillée. Un tel cône est limité par deux glaces à faces parallèles. Ce système est très utilisé, en particulier pour les travaux portuaires. Il a été écarté en raison de son poids et de son encombrement.

La sensibilité spectrale du Vidicon, équivalent à celle de l'oeil, n'a pas à être modifiée par filtrage, car le système travaille en lumière artificielle.

Protection du hublot :

La caméra du CAV devant être utilisée avant tout pour des études de géologie sur des fonds chaotiques, une protection très complète du hublot a été prévue.

Le hublot du caisson étanche est constitué par une lame de verre à faces parallèles de 15 mm d'épaisseur. Il est protégé des chocs directs par une dalle de métacrylate de méthyle (Altuglas ou Plexiglass) de 40 mm d'épaisseur. Pour éviter la rapide détérioration lors des chocs, une lame de Plexiglass de 4 mm est placée en avant de la dalle. Lors de l'utilisation de la caméra sur des fonds difficiles, la durée de vie moyenne de la lame avant est de l'ordre de 30 à 60 minutes. Un espace d'eau de 10 mm est ménagé entre la lame et la dalle, afin que les courants puissent évacuer les salissures qui peuvent s'accumuler entre elles. Toutes les faces de ce système étant immergées dans l'eau, il ne constitue pas un facteur limitant la définition comme le hublot du caisson. Même sur les fonds les plus difficiles du Plateau de Rochebonne, cette protection s'est avérée efficace.

Le hublot du caisson de la caméra s'est rompu après 5 ans d'utilisation, par contrainte thermique, sur un fond de sable. M. KRONENGLD et J.M. LOEWENSTEIN (1965) suggèrent à ce sujet d'utiliser un hublot en métacrylate de méthyle dont les qualités optiques sont très voisines de celles du verre, et qui n'est pas sujet à ce genre de phénomène ; cette suggestion semble fort judicieuse et sera retenue.

Étanchéité au niveau du hublot :

Lorsque l'eau est rentrée dans la caméra, l'incident a été visible sur les récepteurs. Un détecteur d'humidité, placé dans le caisson, introduit un décrochage dans le balayage, qui confirme l'entrée d'eau.

Les dégâts ont été peu considérables. En effet, dès que l'eau a commencé à entrer dans le boîtier, la pression à l'intérieur de celui-ci s'est élevée et a freiné l'entrée d'eau (il s'agit d'infiltration par une lézarde). La suspension de l'objectif a alors joué un rôle inattendu. Cette suspension est constituée par une couronne de mousse de polyéthylène d'un diamètre double de celui du caisson, longue de 20 cm, entourant l'objectif, et emmanchée à force par compression dans le caisson, lors du montage de la caméra. Ce bloc a joué le rôle d'une éponge et retenu l'eau de mer qui s'infiltrait. Celle-ci n'a pu, même pendant la longue durée de la remontée, atteindre la partie électronique.

Lors du changement du hublot, une protection complémentaire a été ajoutée. En arrière du hublot, la paroi avant du boîtier a reçu un

joint torique supplémentaire dans lequel la partie avant cylindrique de l'objectif TGA vient s'encasturer. Ce système devrait présenter deux avantages :

- offrir une suspension semi-rigide de l'avant de l'objectif, complétant la suspension médiane par le bloc de mousse de polyéthylène,
- et assurer le rôle d'un joint automatique d'étanchéité, en cas de rupture du hublot.

Bloc d'alimentation :

Les observations et les enregistrements se déroulent dans le noir sur un bateau, le système doit donc être efficace et fiable.

Ce bloc a été remodelé 2 fois, avant que soit obtenu le système désiré :

- un disjoncteur permet la mise sous-tension du bloc d'alimentation lorsque le groupe électrogène atteint un régime régulier,
- ce disjoncteur coupe automatiquement le circuit : pour une surtension dépassant 230 volts, ou en cas de fuite due à une défaillance de l'isolement du circuit électrique,
- un voltmètre indique la tension délivrée par le groupe,
- il est surmonté par un voyant à lampe au néon qui indique la mise sous tension du bloc (dans la première version, les lampes indicatrices à incandescence avaient une vie trop courte, due aux surtensions et aux chocs),
- un commutateur à 4 positions permet de commander la puissance lumineuse délivrée par les projecteurs,
- leur mise sous tension est indiquée par un voyant,
- et l'intensité débitée est indiquée par un ampèremètre ; on peut ainsi détecter des fuites éventuelles de courant ; dans la première version, l'ampèremètre précédait le voltmètre, ce qui était une erreur car, lors du démarrage, la tension du groupe doit être stabilisée, et seulement alors les projecteurs doivent être enclenchés et le groupe réglé à nouveau pour délivrer 220 volts ; grâce à cette succession d'opérations, la fréquence des surtensions passagères a été grandement réduite,
- un interrupteur permet la mise sous tension de la caméra, des récepteurs et du bloc d'alimentation du système de kinescopie,
- un voyant indique leur mise sous tension,
- un interrupteur commande un relai stabilisant le balayage pendant les prises de vues (en fonctionnement normal, le balayage est flottant),

- un voyant rappelle cette fonction,
- lorsque tous les voyants sont allumés, l'enregistrement peut être déclenché par la poire solidaire de la caméra de cinéma.

Récepteurs :

Un seul récepteur a été utilisé lors de la première mission, ce qui présentait deux inconvénients :

- les membres de l'équipage étaient privés de réception, condition psychologique défavorable car les marins sont habitués depuis des années à travailler avec les scientifiques, il "vivent" l'expérience et s'y intéressent ; la vue directe des fonds leur montre aussi les endroits les plus favorables aux prélèvements d'échantillons,
- les marins ne voyant pas le fond, la gouverne du bateau se fait par transmission d'ordres ; le décalage de temps introduit est préjudiciable.

Il a suffi de brancher deux récepteurs en série pour pallier cet inconvénient.

Berceau⁺ :

Il est de type classique, la solution Trofka⁺⁺ de J.Y. COUSTEAU ne s'imposant pas pour les faibles profondeurs.

Lors de l'étude des fonds de Roscoff et de la Baie d'Audierne, le berceau a été remorqué sur le fond (la caméra est inclinée sur le berceau, de 10° vers le fond) et permet des observations dans le plan horizontal.

Lors de l'étude des fonds de Rochebonne, il a été soit remorqué, soit utilisé suspendu^{au-dessus} du fond (il permet alors des observations sous un angle de 45° par rapport au fond).

Lors de l'étude des fonds des lacs Pavin, Bourdouze et Montcineyre, la caméra a été utilisée seule, pendant verticalement au bout du câble électrique autoporteur (les observations sont alors effectuées normalement par rapport au fond). Aucun vrillage du câble n'a perturbé les observations.

+ Nom générique en océanographie des bâtis supportant une expérience.
++ Berceau auto-redressant.

Ce circuit fermé de télévision s'est révélé parfaitement efficace en océanographie et en limnologie, c'est un des seuls circuits fiables disponibles en Europe.

Plongeurs et industriels ont sollicité plusieurs fois les services du CAV, services que les structures administratives ne permettent pas de leur fournir.

La firme GRUNDIG SOTRATA fabrique désormais en série un équipement identique à celui conçu au CAV.

3.1.5/ KINESCOPIE :

Le circuit fermé de télévision permet au chercheur d'observer les fonds en permanence. Lorsqu'une séquence est intéressante, elle est enregistrée.

L'enregistrement magnétique par magnétoscope a été écarté pour deux raisons :

- les systèmes financièrement abordables ne sont pas assez fiables pour l'usage en mer,
- la diffusion des documents ne peut encore être assurée efficacement que sous la forme de films 16 mm ; il faut après l'enregistrement, établir un kinecope de la bande du magnétoscope.

La kinescopie directe, ou enregistrement cinématographique de l'image d'un récepteur de télévision (telerecording en Angleterre, television ou video recording ou encore kinecope recording aux USA), donne directement un film utilisable. Cette technique est spéciale, une caméra normale ne peut être utilisée sans modification.

A.E. SARSON (1953), A.B. PALMER (1964) et W.J. SPEELMAN (1965) analysent les problèmes posés par la kinescopie :

Fréquence des images, Définition :

Dans les pays utilisant du courant alternatif 50 Hertz, les Circuits Fermés de Télévision fonctionnent avec une image renouvelée 25 fois par seconde. En réalité ce sont 50 demi-images (ou demi-frames) entrelacées qui sont utilisées. Les lignes paires sont balayées. Le signal de synchronisation du balayage des lignes impaires est envoyé. Les lignes impaires sont balayées. Le signal de synchronisation du balayage des lignes paires est envoyé, et le cycle recommence. Pendant la réception du signal de synchronisation, le balayage du poste est arrêté. En 625 lignes, en réalité 260 lignes sont balayées pour chaque demi-image. La résolution dans le sens perpendiculaire au balayage est de 260 paires de lignes, on dit en télévision de 520 points. Dans le sens du balayage, il est de 260 paires de lignes, car on considère qu'il faut 2 lignes (1 de chaque balayage) pour transmettre une paire de lignes (c'est-à-dire un élément blanc et un élément noir). Ces chiffres sont égaux, car l'amplitude de la modulation du signal est choisie en rapport avec la fréquence de balayage. Le signal de synchronisation de demi-trame dure 1,2 ms.

Les valeurs qui caractérisent l'image peuvent être exprimées angulairement : deux demi-images et leurs deux signaux de synchronisation durent $1/25$ de s, soit 40 ms, et, par référence au cinéma, 360° (1° équivaut à 0,111 ms) ; le signal de synchronisation de 1,2 ms équivaut à $10,8^\circ$.

Synchronisation d'une caméra classique :

Pour toutes les caméras classiques, la durée d'exposition est égale au temps de transfert et de centrage du film sur l'image suivante, soit deux fois $1/50$ de seconde à la cadence de 25 i/s, soit en rotation deux demi-tours, soit aussi deux fois 180° . Le fonctionnement de la caméra impose le système de kinescopie.

L'exposition débute avec le balayage d'une demi-image et s'arrête avec lui. Pendant le balayage de la demi-image suivante, le film est transféré, et ainsi de suite.

La caméra doit être pourvue d'un moteur synchrone (ce qui assure son entraînement à 25 i/s), à stator orientable (pour que l'ouverture de l'obturateur puisse être synchronisée avec le balayage lors du

démarrage du moteur). Le moteur doit être pourvu d'un dispositif assurant son démarrage toujours sur une alternance de même sens. Il s'écoule deux alternances par 1/2 image, donc si le moteur démarrait sur l'alternance de sens opposé, l'obturateur s'ouvrirait du milieu de l'analyse d'une 1/2 image jusqu'au milieu de l'analyse de la 1/2 image suivante ; or l'obturateur d'une caméra n'est jamais rigoureusement ouvert à 180°; si l'ouverture est plus faible, une bande noire apparaît alors au centre de l'image (absence de balayage) ; la bande est blanche (superposition de balayage) si l'ouverture est plus grande.

Le système Arriflex utilise, pour l'accrochage sur l'alternance de sens adéquat, un freinage automatique piloté par une lampe à éclat au néon (W.J. SPEELMAN, 1965).

Cadences de renouvellement des images :

La Télévision et le Cinéma sont basés sur la persistance rétinienne.

En Télévision, l'image est en plus analysée, mais son intensité reste visuellement constante, car, à la persistance rétinienne est surajoutée la faible rémanence du tube qui dure environ 10 ms.

La persistance rétinienne a conduit, dans les deux systèmes, à des cadences de renouvellement voisines : 25 et 24. Un film peut donc être directement analysé en télévision à 25 i/s, l'accélération introduite est insensible, même sur la hauteur du son.

Dans les pays où le courant est fourni à 60 Hertz, le problème est beaucoup plus complexe, 24 images de cinéma sont analysées par 60 demi-images de télévision.

Synchronisation d'une caméra spéciale pour kinesconie :

L'obturateur d'une caméra de ce type reste ouvert pendant 349,2° et permet l'enregistrement successif des deux 1/2 images, le film est entraîné pendant 10,8° soit 1,2 ms (au lieu de 20 ms pour une caméra classique, soit 16 fois plus vite). Cet entraînement brutal du film est difficile à réaliser : on se contente en général de 15°, malgré tout ce

type de matériel reste très onéreux, et est seulement conçu sous forme de consoles impraticables sur les petits bateaux océanographiques.

Caméra à défilement continu :

Le film est entraîné de façon continue par rapport à l'image formée sur l'écran d'un récepteur spécial restituant les lignes en superposition. Ce système n'est pas plus utilisable que le précédent en océanographie.

Compensation électronique :

Le système s'apparente à celui utilisé pour enregistrer les spots d'oscillographes (cf. p. 54).

Le tube du récepteur est pourvu d'un "phosphore" plus rémanent que celui des tubes habituels. Une caméra classique est utilisée. Lors de l'ouverture de l'obturateur, le film enregistre la demi-image en cours d'analyse et la demi-image précédente qui subsiste rémanente. Pour que les deux demi-images (directe et rémanente) soient enregistrées à luminosité égale, la modulation du spot est accentuée pendant le balayage de la demi-image dont seule la rémanence est enregistrée.

Dans ce système le problème de la finesse du spot est difficile à résoudre, impliquant une grande quantité d'électronique qui rend ce montage inexploitable en océanographie.

De même, les systèmes séquentiels permettant un entraînement du film sur 30° sont encore moins utilisables, (A.M. SPONNIER, 1957).

Kinescopie dans l'installation du Centre Audio-Visuel :

C'est le système utilisant une caméra classique qui a été choisi (BEAULIEU MR 16, utilisée par ailleurs). La caméra est accouplée à un moteur synchrone et à un boîtier de commande IBAC.

Ce système fonctionne très bien mais présente un inconvénient : l'enregistrement d'une seule demi-image entraîne une perte de définition, puisque seule la moitié de l'information disponible visuellement sur le tube du récepteur de télévision est utilisée.

Cet inconvénient est néanmoins tout à fait compatible avec les observations effectuées : la définition en télévision sous-aquatique en raison du milieu (et en infra-rouge en raison de la transparence relative des tissus) est peu élevée.

L'écran d'un moniteur spécial 10 fois plus lumineux qu'un récepteur normal, émettant principalement dans le bleu-violet, et associé à un amplificateur à grande sensibilité doit en principe être employé pour faciliter la kinescopie, (A.E. SARSON, 1953). Un moniteur classique est utilisé dans l'installation du CAV, ce qui implique l'utilisation du diaphragme f/4 avec du film Kodak TRI X.

Perte de qualité de l'image entraînée par le report sur film :

Au niveau de la pellicule, la kinescopie entraîne un certain nombre de défauts :

- les bandes de densité légèrement fluctuantes qui apparaissent en projection sont dues à l'utilisation d'un moniteur classique dont la brillance du tube n'est pas stabilisée.
- le contraste de l'image projetée est faible. Ceci est inhérent à la télévision. Le spot induit la phosphorescence du revêtement sensible du tube, mais, à partir du point excité, la lumière diffuse. D'autre part la paroi avant en verre du tube produit des réflexions multiples. Ces deux phénomènes s'additionnent et contribuent à abaisser le contraste de l'image enregistrée.
- pour accorder l'émission lumineuse du récepteur à la courbe caractéristique de la pellicule, afin de reproduire au mieux l'intervalle de lumina-tion, il faudrait utiliser pour le moniteur un circuit d'amplification non-linéaire (A.M. SPONNER, 1957).
- la résolution du Vidicon est faible : 520 lignes de 520 points (il faut tenir compte verticalement de 520 lignes, puisque l'intervalle entre lignes subsiste de toute façon, même dans l'enregistrement 180°/180°). Lorsque cette information est reportée sur film 16 mm, il faut obtenir horizontalement une définition de 27 paires de lignes par mm, et verticalement de 39,9 paires de lignes par mm, pour ne pas entraîner une perte de définition

de l'image. Néanmoins, même lors de l'utilisation d'une pellicule rapide, et bien que la caméra soit soumise à de rudes épreuves, la définition verticale, tout comme la définition horizontale, est en général respectée. - lors de la copie de la pellicule, une distorsion est introduite entre la reproduction des points et celle des lignes. Les points répartis tout au long de l'échelle d'une gamme de gris sont reproduits avec une perte de définition très faible, environ 10 à 15 %, et un contraste inchangé. Par contre, les lignes qui, considérées statistiquement, sont d'un gris moyen, s'opposent à l'intervalle entre lignes qui est noir. Lors de la copie, qui est effectuée par voie optique, le contraste des lignes est renforcé par effet CALLIER. A la projection, la trace du balayage apparaît renforcée, et la modulation du spot diminuée, ce qui entraîne une perte visuelle de définition appréciable. Une solution a été proposée, qui consiste à vobuler les lignes pour leur faire couvrir les intervalles noirs. Paradoxalement, cette solution ne diminue pas la résolution en points, et améliore la définition visuelle (A.M. SPONNER, 1957, article comportant de très nombreuses références bibliographiques sur la kinescopie). Ce système n'est pas prévu sur les circuits fermés de télévision.

3.1.6/ PUBLICATIONS :

Grâce à la mise en oeuvre de ce système simple et original d'investigation des fonds sous-marins par télévision en circuit fermé, les renseignements fournis par les dragages sur les fonds de Roscoff et de Rochebonne ont pu être vérifiés et complétés. Les résultats de ces explorations sont consignés dans deux notes :

- Essai d'une Caméra Légère de Télévision Sous-marine dans la Manche Occidentale p. 77 à 87.
- Exploration d'un Fond marin et Recherche d'un Cable immergé à l'aide d'une Caméra légère de Télévision .. p. 88 à 97.

Essai d'une Caméra Légère de Télévision Sous-marine dans la Manche Occidentale

G. BOUHOT, J. VALÉRIEN, A. PAILLÉ (Centre Audio-Visuel, École Normale Supérieure de Saint-Cloud); G. BOILLOT (Faculté des Sciences de Paris, Laboratoire de Géologie Dynamique); L. CABIOCH (Faculté des Sciences de Paris, Station Biologique de Roscoff).

Verwendung einer leichten Fernsehkamera im westlichen Ärmelkanal.

Die Verfasser beschreiben eine Apparatur, bei der auf einem vom Schiff geschleppten Schlitten eine Fernsehkamera über den Grund gezogen wird. In der Umgebung der Versuchsstation Roscoff wurden hiermit geologische Untersuchungen des Grundes und biologische Beobachtungen durchgeführt.

Application of a Light-Weight Television Camera in the Western Channel.

The authors describe a piece of equipment in which a television camera is dragged across the ground on a sled towed by a ship. Geological explorations of the ground as well as biological observations were carried out with this equipment in the area of the Roscoff Experimental Station.

Introduction

La Faculté des Sciences de Paris possède à Roscoff la plus importante station biologique française. Depuis près d'un siècle, les fonds sous-marins qui s'étendent au large de la ville ont été systématiquement prospectés. Au cours de ces dernières années, ces études ont connu un nouvel essort grâce à l'emploi de méthodes modernes de navigation: la région est maintenant parfaitement connue, aussi bien du point de vue biologique que du point de vue géologique. On sait en particulier qu'au delà de 65 mètres de profondeur¹⁾, mis à part quelques accidents locaux repérés avec précision, les fonds restent plats sur de larges surfaces.

Ces conditions nous ont parues favorables pour entreprendre des essais de caméra de télévision sous-marine: la faible profondeur permet l'utilisation d'un matériel léger, donc relativement peu onéreux; d'autre part la bonne connaissance du "terrain" nous évitait la recherche préalable des "dangers" pour l'appareillage de fond. Enfin, la Station Biologique, et surtout son bateau, le *Pluteus II*, nous offrait d'excellentes facilités de travail qu'il eut été difficile de trouver ailleurs.

En revanche, nous devions nous attendre à trouver dans la Manche une forte turbidité de l'eau et de violents courants de marée: l'expérience nous a montré que ces difficultés étaient surmontables.

¹⁾ Rappelons que la plongée en scaphandre autonome n'est possible dans la Manche que jusqu'à 30 ou 40 mètres de profondeur.

Description du Matériel

Caméra de Télévision — C'est une caméra monobloc transistorisée GRUNDIG F. A. 41. Alimentée en courant alternatif 220 volts, 50 périodes par seconde, elle consomme 15 watts. Le bloc pèse 4,5 kilogrammes et délivre un signal vidéo complet: il comprend en effet, outre le Résistron, l'alimentation, le diviseur de fréquence, les circuits de déviation, de synchronisation et d'amplification. Le balayage 625 lignes peut être entrelacé (pour les observations visuelles) ou non entrelacé (lors des enregistrements).

Un dispositif électronique fait varier la sensibilité de la caméra à la lumière sur une gamme de plus de 6 diaphragmes, ce qui rend inutile la manœuvre de l'iris de l'objectif. La caméra étant entièrement automatique, les télécommandes sont réduites à néant.

Le Résistron 255-IND qui équipe la caméra, donne, avec un objectif ouvert à 1 : 1,8 une image utilisable pour un éclairage de 40 lux et une image parfaite pour un éclairage de 200 lux. La sensibilité spectrale de ce tube est très voisine de celle de l'œil.

Optique de la caméra de Télévision — Le choix d'un objectif très grand angle, donc à grande profondeur de champ, a permis de s'affranchir des télécommandes.

L'objectif KINOPTIK TEGEA de focale 5,7 mm, ouvert à 1 : 1,8 donne dans l'air un champ utile de 103 degrés et dans l'eau de mer un champ utile de 72 degrés. Mis au point sur la distance 50 cm, il assure, monté sur la caméra, une visibilité excellente entre environ 15 cm et la limite de la visibilité due à la turbidité de l'eau, en général de 5 à 10 mètres.

Boîtier étanche de la Caméra — Réalisé en alliage léger, le boîtier étanche est cylindrique. La face antérieure est munie d'un hublot en verre de 15 mm d'épaisseur. La face postérieure est démontable, l'étanchéité étant obtenue par la succession de 2 joints toriques en caoutchouc.

Le boîtier a été testé pour une profondeur de 200 mètres.

Les prises électriques sont du type "aviation étanche". Le boîtier contient un dispositif électronique qui perturbe le balayage de la caméra en cas d'entrée d'eau dans le boîtier, avertissant ainsi l'observateur de la présence d'une fuite.

Après plusieurs essais, la suspension de la caméra dans le boîtier étanche à l'aide de morceaux de poly-éthylène expansé a permis d'assurer une liaison semi-rigide satisfaisante. (En effet, une fixation trop rigide ou trop lâche entraîne au moindre choc des vibrations telles que le balayage de la caméra en est altéré).

Projecteurs — Les deux projecteurs sont orientables sur des bras fixés de part et d'autre du boîtier. Ils sont écartés de 32 cm de l'axe de la caméra. Les lampes 500 watts, 220 volts, sont enfermées dans des manchons de verre refroidis par l'eau de mer ambiante.

Berceau — L'ensemble caméra-projecteurs est solidaire d'un berceau simple dont la stabilité s'est avérée très satisfaisante (v. Fig. 1).



Fig. 1. Berceau, caméra de télévision, projecteurs

Le hublot de verre de la caméra est protégé par une dalle de "Plexiglass" de 40 mm d'épaisseur. Pour éviter une rapide détérioration de cette dalle lors des chocs, une lame de "Plexiglass" de 4 mm d'épaisseur séparée de la précédente par 10 mm d'eau constitue une protection supplémentaire. L'ensemble de ces lames de "Plexiglass" ne diminue pas sensiblement la définition de l'image observée.

Groupe électrogène — Un groupe à essence, monocylindre, 4 temps, réglé, de puissance 2 KW assure l'alimentation de l'installation en courant 220 volts, 50 périodes.

Boîtier d'alimentation — Un boîtier centralise l'ensemble des commandes et des contrôles (v. Fig. 2). Sur la face antérieure sont disposés, dans l'ordre d'utilisation:

- contrôle de la tension délivrée par le groupe;
- disjoncteur qui réagit en cas de surtension dès 230 volts ou en cas de mauvais isolement du circuit électrique;
- allumage des projecteurs et contrôle de l'ampérage absorbé par ces projecteurs (4 positions de réglage);
- mise sous tension de la caméra de télévision, du récepteur, et du dispositif de kinescopie (ce dernier est mis en action par un bouton, ceci permet de choisir les moments durant lesquels on procède aux enregistrements);
- passage du balayage entrelacé au balayage non entrelacé.

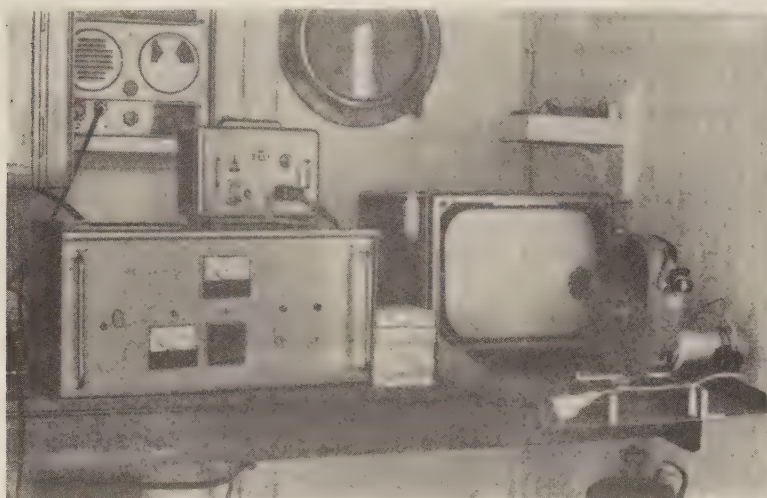


Fig. 2. Boîtier d'alimentation, récepteur, dispositifs pour kinescopie

Toutes les fonctions étant répétées par des indicateurs à lampe néon, l'enregistrement peut être entrepris dans l'obscurité (l'installation est en ordre de marche lorsque tous les voyants sont allumés).

Récepteur — Le récepteur est de type industriel GRUNDIG BG 360, écran de 36 cm. Il est alimenté en 220 volts, 50 périodes par seconde et consomme 110 watts. L'amplitude de réglage du contraste du récepteur est largement suffisante pour compenser les images douces dues à la diffusion de la lumière dans l'eau de mer.

Nous avons, le plus souvent, utilisé plusieurs récepteurs en série.

Câbles de Liaison — Un câble en acier étamé de 10 mm de diamètre maintient le berceau. Ce câble est lové sur un treuil du bateau.

Le câble électrique allant du boîtier de la caméra au bloc d'alimentation est autoporteur grâce à un câble incorporé de 3 mm de diamètre (portance 100 kg.). Il comprend 7 conducteurs (4 pour les projecteurs, 2 pour l'alimentation de la caméra, et le dernier avec retour par la masse qui permet la commande du relais assurant le passage balayage entrelacé — balayage non entrelacé) et un câble coaxial d'impédance 75 ohms. L'ensemble est gainé et noyé dans une enveloppe de chlorure de vinyle souple. Nous avons utilisé un câble de 170 mètres: son poids est de 36 kg. Le câble complet peut supporter une charge de 65 kg et accepte un rayon de courbure de 120 mm. Pour le soulager néanmoins de tout effort, nous l'avons délesté de place en place par des flotteurs de verre creux.

L'utilisation d'un câble de 170 mètres n'a pas introduit d'affaiblissement, ni de distorsion du signal. Seuls les courants alternatifs induits dans le câble ont conduit parfois à un assombrissement de l'image par plages, comme le signal de KRONENGOLD et LOEWENSTEIN [3] (cf le haut des photographies Fig. 4 et 6).

Dispositif d'enregistrement — Le kinescopage est réalisé sur film 16 mm KODAK TRI-X-TV, inversible type 7727, à l'aide d'une caméra BEAULIEU-MR-16 et d'un boîtier de commande IBAK. La caméra de télévision est alors utilisée en balayage non entrelacé.

Les prises de vues d'ou sont extraites les photographies de cet article ont été réalisées à la cadence de 25 images par seconde. La caméra BEAULIEU était équipée d'un objectif grand angle SCHNEIDER CINEGON de 11,5 mm de focale, ouvert à 1 : 1,9. L'ouverture choisie est de 1 : 4 (la profondeur de champ ainsi obtenue permet de compenser la légère convexité de l'écran du récepteur).

Le transfert sur film altère le contraste de l'image donnée par le récepteur, il en résulte une perte assez sensible de définition.

La barre de stroboscopie est très stable et ne se déplace pas, même après de nombreuses mises en route.

Utilisation du Matériel en mer

Le temps de travail est limité: à cause des courants très violents de la Manche, les expériences ne peuvent avoir lieu que pendant les périodes de morte-eau, un peu avant et un peu après les „étales“ de basse mer ou de pleine mer.

Le bateau est mis en panne à l'endroit choisi, et le berceau est alors immergé par la proue, soutenu par le câble porteur en acier. Simultanément, le câble électrique de liaison, de plus forte section, délesté par des flotteurs, est immergé par la poupe, faiblement tendu. Ce câble, pendant la descente

de la caméra, joue le rôle d'un gouvernail, et maintient le berceau dos au courant, c'est-à-dire dans le sens de la route suivie par le bateau qui dérive. Lorsque le berceau a touché le fond, il avance entraîné par le bateau entraîné lui-même par le courant. La houle qui se fait sentir en surface combinée à la dérive imprime au berceau un mouvement saccadé, et impose ainsi à la caméra une série de bonds successifs de quelques mètres. L'avant du berceau est alors légèrement soulevé par le câble d'acier, assez peu cependant car le fond reste visible sur l'écran du récepteur, ceci grâce à la légère inclinaison de la caméra sur son support. Entre les sauts, les périodes d'arrêt de quelques secondes sont très favorables à l'observation des détails, et, éventuellement, à l'enregistrement photographique ou cinématographique. Les périodes d'arrêt peuvent être prolongées en laissant „filer“ quelques mètres de câble (Fig. 3).

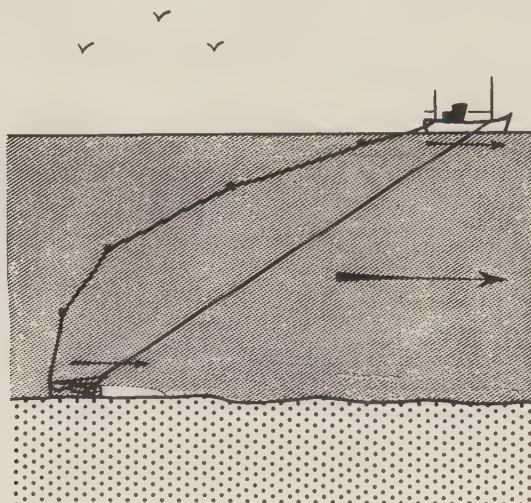


Fig. 3. Méthode de remorquage du berceau

La visibilité en avant de la caméra est limitée à une dizaine de mètres à cause des particules en suspension dans l'eau. Pour cette raison, la puissance lumineuse des projecteurs n'est en général utilisée qu'à moitié, l'accroissement d'intensité n'augmentant que la diffusion lumineuse devant l'objectif. De plus, le courant étant un peu plus rapide que la progression du berceau, un nuage de débris enveloppe parfois plus ou moins la caméra lorsque le berceau laboure un fond meuble¹⁾.

¹⁾ Il aurait été intéressant de lutter contre le courant en remorquant doucement la caméra. Mais ceci nous aurait obligé à mettre l'hélice en route. Le berceau étant relié au bateau par deux câbles, la manœuvre serait trop dangereuse.

Résultats

Images du fond — La forte diffusion de la lumière nous a amenés à accepter des oppositions lumineuses violentes conduisant à des premiers plans sur-exposés, ceci afin de pouvoir observer un espace suffisant autour de la caméra (exemple Fig. 7). Les photographies reproduites dans l'article, extraites d'un kinescope, ne reflètent donc pas la qualité de l'enregistrement, et à plus forte raison la qualité de l'image obtenue sur l'écran. Tous les défauts que nous avons signalés s'accumulent dans ces reproductions. Il s'y ajoute les inconvénients dûs au passage du film à une photographie sur papier, elle-même reprise ensuite par photogravure.

Les images ont été choisies pendant les phases d'arrêt du berceau; en effet, si, lors des déplacements, le trainage dû au Résistron ne gêne pas l'observation visuelle, les images enregistrées ne peuvent guère être observées isolément.

Observations géologiques — Pour le géologue, la région la plus intéressante que la caméra a explorée est celle recouverte par un tapis de cailloutis au delà de 65 m. Ces cailloutis, dont on connaissait l'existence grâce à de très nombreux dragages, sont les restes d'une formation alluviale, déposée à l'air libre dans la Manche, au moment des périodes froides de l'ère quaternaire [1]. L'observation par télévision a permis deux conclusions nouvelles:

a) Les cailloutis sont de tailles très inégales. Par endroit, ils sont constitués de cailloux ne dépassant pas 10 à 20 cm. Ailleurs ils forment des champs de blocs, dont les plus volumineux dépassent 2 mètres (Trou Santie).

b) Dans les régions recouvertes par des cailloutis de petite dimension, il se trouve ça et là, de gros blocs qui semblent posés sur les cailloutis proprement dit (Fig. 4). Ces blocs semblent donc plus récents que les cailloutis qu'ils recouvrent. Ils pourraient résulter d'un délestage dû aux glaces flottantes, au moment du réchauffement climatique et de la transgression qui suivirent la dernière glaciation quaternaire.

Les blocs avaient jusqu'à présent échappé aux recherches, parceque les dragues sont de trop petites dimensions pour les récoltes.

Observations biologiques — Les campagnes de dragage effectuées par la Station Biologique avaient déjà fait connaître la répartition des peuplements sur les fonds du large de Roscoff [2]. Les observations directes utilisant la télévision sous-marine ont confirmé l'image que l'on pouvait s'en faire et ont permis de préciser certains points, notamment le mode de passage d'un peuplement à un autre.

Quatre types de fonds ont été explorés:

- Les sables fins de la baie de Morlaix.
- Les sables grossiers et en particulier les dunes hydrauliques (Trezen ar Skoden).
- Les fonds caillouteux à Ophiures.
- Les fonds durs à Eponges (*Axinella*) et Bryozoaires.

Les sables fins (Fig. 5) se sont montrés jonchés de débris d'algues provenant de la côte ou des ceintures algales peu profondes. L'apport organique qui en résulte n'est sans doute pas sans importance dans l'économie générale de ces fonds.



Fig. 4. Bloc posé à la surface des cailloutis

A cet endroit les cailloutis sont recouverts par un tapis d'ophiures bien visibles au premier plan
Echelle: base de la photographie environ 1 m



Fig. 5. Ripple-marks sur fond de sable grossier

Visibilité environ 7 mètres. Assombrissement par plages (cf. texte)

De place en place, et surtout à la périphérie, le passage à des sables grossiers se fait très brusquement. Cette constatation sera d'un intérêt certain pour la cartographie des peuplements très différents qui habitent ces fonds. Les fonds caillouteux du large (par 65 à 90 mètres de profondeur) sont d'une observation particulièrement intéressante pour le biologiste. Ils forment une vaste plaine couverte de cailloux ronds (Trou aux Singes, au Nord-Est de l'île de Batz), par des populations denses d'Ophures (*Ophiolirix fragilis*). On remarque, sur la photographie (Fig. 6), la position particulière de ces Ophures: elles dressent leur disque et deux ou trois de leurs bras dans un plan vertical. L'emploi de la télévision a permis d'étudier la bordure de ces bancs d'Ophures et de constater la netteté de leur délimitation.



Fig. 6. Ophures, *Ophiolirix fragilis*

Les Ophures sont dans une position particulière: elles dressent leur disque et deux ou trois de leurs bras dans un plan vertical (ving mille au N.-E. de Roscoff, "Trou aux Singes").

En d'autres points, principalement au Nord et au Nord-Ouest de Batz, (Trou Sautic), (Fig. 7 et 8) les blocs sont de plus forte taille. Les bancs d'Ophures font alors place à de très riches peuplements ou les Eponges (*Axinella*, *Phakelia*) et de grandes colonies de Bryozoaires calcifiés (*Hippodiplosia*) se dressent au-dessus d'un tapis très dense d'Hydroides et de Bryozoaires (*Cellaria*) de dimensions plus modestes. La richesse de ce peuplement se trouve confirmée, ainsi que son importance dans la production de fragments calcaires, en particulier des articles de *Cellaria* qui vont s'accumuler dans les bancs de sable et les dunes hydrauliques.

— Nous remercions la Direction et les marins de la Station Biologique de Roscoff pour l'aide efficace qu'ils nous ont prodiguée.

— Photographies E. VAST. Ecole Normale Supérieure, Centre Audio-Visuel. St. Cloud. Seine et Oise.



Fig. 7. Association type du "Trou Santic"

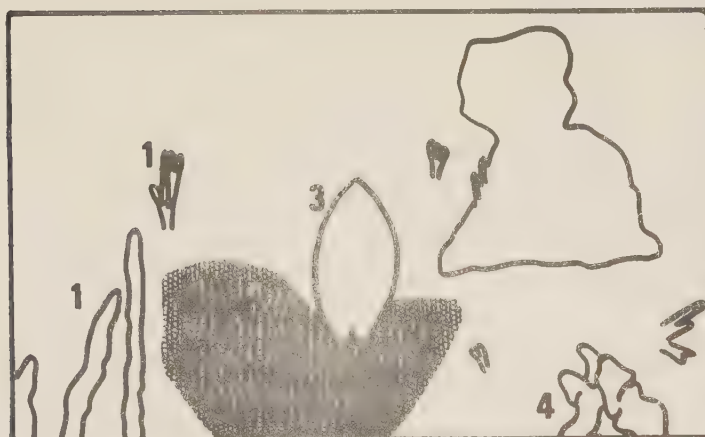


Fig. 8. Schéma interprétatif de la fig. 7

1: *Arenella dissimilis*; 2: Prairie d'*H. draires* et de *P. lacunares*;
3: *Cliona celata*?; 4: *Hippodiplosia foliace*

Références

- [1] BOILLOT, G., Géologie de la Manche occidentale. Fonds rocheux, dépôts quaternaires, sédiments actuels. *Ann. Inst. Océanog.* **42** (1964), pp. 1—220.
- [2] CABIOCH, L., Etude de la répartition des peuplements benthiques au large de Roscoff. *Cah. Biol. Mar.* **2** (1961), pp. 1—40.
- [3] KRONENGOLD, M. et J. M. LOEWENSTEIN, Cinematography from an Underwater Television Camera. *Le Film de Recherche* **5** (1965), n° 3, pp. 242—248.
- [4] Les Fonds Marins au large de la Région de Roscoff. Film 16 m/m, N et B, muet, avec notice d'accompagnement. Sera disponible en 1966 à la Cinémathèque du Service du Film de Recherche Scientifique, 96 Boulevard Raspail, Paris. Prêt gratuit.

Exploration d'un Fond marin et Recherche d'un Cable immergé à l'aide d'une Caméra légère de Télévision¹⁾

G. BOUHOT, A. PAILLÉ, J. VALÉRIEN, Centre Audio-Visuel, Ecole Normale Supérieure, Saint-Cloud, et V. ROMANOVSKY, Y. ALIX, F. LAPIERRE, Centre de Recherches et d'Études Océanographiques, La Rochelle

Untersuchung des Meeresgrundes und Aufsuchen eines Kabels mit Hilfe einer leichten Fernsehkamera. Eine Fernsehkamera ist zusammen mit der Beleuchtungseinrichtung auf einem Schlitten montiert, der von einem Forschungsschiff über den Grund geschleppt wird, während das Fernsehbild durch ein Kabel auf ein Wiedergabegerät übertragen wird. Es wird auf diese Weise eine Untiefe mit felsigem Grund und starken Tiefenschwankungen untersucht und insbesondere ein Kabel wieder aufgefunden, das ein Jahr vorher mit Einrichtungen zu Korrosionsversuchen dort verlegt worden war.

Examination of the Sea Bottom and Search for a Cable with the aid of a light Television Camera. A TV-camera and lighting equipment are mounted on a sledge which is dragged over the sea bottom by a research ship, the TV picture being relayed to a monitor via a cable. In this way a rocky

¹⁾ Cette recherche fait l'objet d'une publication dans la revue „Travaux du Centre de Recherches et d'Études Océanographiques“ Vol. 10. 1969

sea-bed with greatly varying depths is examined and, of particular import, a cable is found that had been laid there a year before with equipment for of corrosion tests.

Introduction

Le Centre de Recherches et d'Études Océanographiques et le Centre Audio-Visuel de l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud ont organisé conjointement en novembre 1967 une mission d'exploration dans le golfe de Gascogne sur le plateau immergé de Rochebonne. Le matériel d'observation utilisé se composait essentiellement d'un circuit de télévision sous-marine installé à bord du "Job Ha Zelian", le navire du C.R.E.O.

Celui-ci, long de 23 mètres possède un équipage de 5 hommes et peut embarquer 5 passagers scientifiques. Son équipement très complet est conçu pour l'exécution des travaux les plus divers.

Le but de la manipulation était de localiser avec précision, en vue de sa récupération ultérieure par des plongeurs, un filin immergé dans une zone rocheuse par 70 mètres de profondeur au Sud du plateau de Rochebonne. Ce filin avait été disposé en direction SSE/NNW à cet endroit en novembre 1966. Il mesure 1800 mètres de longueur. Il porte tous les 100 mètres des éprouvettes destinées à étudier les corrosions et les salissures en milieu marin profond.

Afin que ce matériel ne gêne pas le travail des pêcheurs, il avait été mouillé dans un secteur accidenté à l'intérieur du périmètre délimité par les 4 bouées du plateau de Rochebonne.

La nature du fond interdisant toute récupération à l'aide de grappins, il fallait donc envisager d'utiliser des plongeurs. Or, à cette profondeur (65 à 70 mètres) ceux-ci ne disposent que d'une autonomie très limitée et ne peuvent travailler que dans un espace restreint; d'où la nécessité de repérer auparavant très exactement le câble à l'aide d'une caméra de télévision sous-marine.

Quelques données géographiques

Le plateau de Rochebonne est un haut fond rocheux situé à 50 milles à l'Ouest de la Rochelle (46° 10 N — 02° 26 W). Il s'étend du NNW au SSE sur une longueur de 6 milles environ et comporte deux têtes de roche recouvertes seulement par 4 mètres d'eau. Quatre bouées, disposées en losange, délimitent la zone dangereuse pour la navigation. L'orientation générale des reliefs de ce plateau et les diverses roches qui le composent le font apparenter à l'île d'Yeu et par conséquent au Massif Armoricaïn (Fig. 1).

Le flanc Sud du plateau s'enfonce assez régulièrement de 40 à 70 m. Le fond présente dans ce secteur une succession alternée de roches nues et

de zones de sable coquillier. L'arête axiale du massif uniquement rocheuse, constitue un véritable mur de 30 mètres de haut.

Cette topographie accidentée provoque par mauvais temps une houle déferlante qui constitue un danger important pour la navigation.

Du point de vue structural, le plateau de Rochebonne est essentiellement constitué par une auréole de schistes et de micaschistes (Fig. 2) entourant un noyau central cristallin. Cette dualité explique les oppositions constatées dans la topographie.

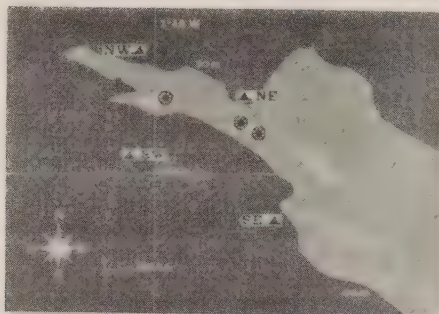


Fig. 1. Carte Schématique du Haut Fond de Rochebonne

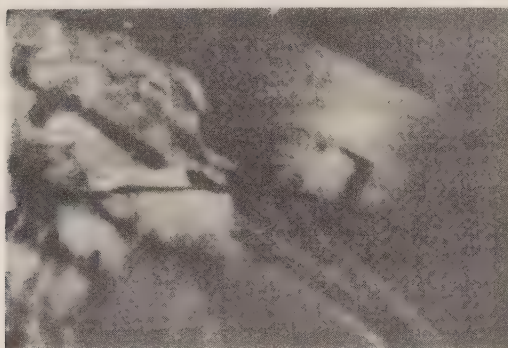


Fig. 2. Dalles de Schistes

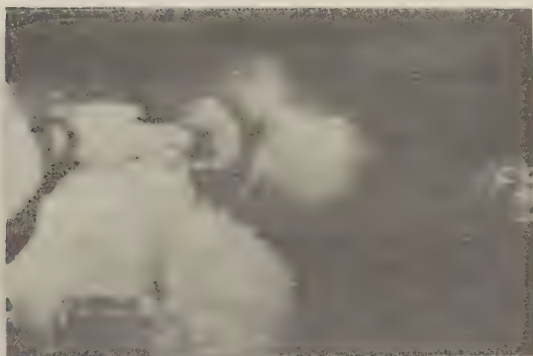
Celle-ci suggère également une érosion glaciaire intense sans doute de la dernière phase froide du Quaternaire (Würm) (Fig. 3).

Les sables (Fig. 4) que l'on trouve aux abords immédiats du plateau ont fait l'objet d'une étude approfondie (F. LAPIERRE). Leurs caractéristiques sédimentologiques (grande abondance des fragments coquilliers brisés.

562

Research Film Vol. 6, No. 6, 1969

3A



3B



Fig. 3. Blocs et Galets Provenant de l'Erosion de l'Arête Centrale du Massif

3 A.: Tirage photographique normal

3 B.: Tirage Log Egram du même négatif



Fig. 4. Ripple Marks: Sable et Debris Coquilliers

oxydation des grains siliceux et abondance des minéraux non usés) confirment l'hypothèse selon laquelle le plateau de Rochebonne constituait il y a 5 ou 10000 ans, une île battue par la houle avant d'être immergée par la dernière transgression dite "Flandrienne".

Description du matériel

Caméra de télévision: C'est une caméra monobloc transistorisée GRUNDIG FA 41 alimentée en courant alternatif 220 volts, 50 Hertz. Elle consomme 15 watts. Le bloc délivre un signal video complet et pèse 4,5 kilogrammes. Outre le Résistron, l'alimentation, le diviseur de fréquence, il comprend en effet les circuits de synchronisation et d'amplification. Le balayage 625 lignes peut être entrelacé (pour les observations visuelles) ou non entrelacé (lors des enregistrements).

Un dispositif électronique fait varier la sensibilité de la caméra à la lumière sur une gamme de plus de 6 diaphragmes, rendant inutile la manœuvre de l'iris de l'objectif.

Le Résistron 255-IND qui équipe la caméra, donne, avec un objectif ouvert à $f/1,8$ une image utilisable pour un éclairage de 40 lux et une image parfaite pour un éclairage de 200 lux. La sensibilité spectrale de ce tube est très voisine de celle de l'œil.

Optique de la caméra de Télévision: Le choix d'un objectif très grand angle, donc à grande profondeur de champ, a permis des s'affranchir de la télécommande de la mise au point et de l'usage d'un hublot correcteur.

L'objectif KINOPTIK TEGEA de focale 5,7 mm, ouvert à $f/1,8$ donne dans l'air un champ utile de 103 degrés et dans l'eau de mer un champ utile de 72 degrés. Mis au point sur la distance 50 cm, il assure, monté sur la caméra, une définition excellente entre environ 15 cm et la limite de visibilité due à la turbidité de l'eau, en général de 5 à 10 m.

Boîtier étanche de la caméra: Réalisé en alliage léger, le boîtier étanche est cylindrique. La face antérieure est munie d'un hublot en verre de 15 mm d'épaisseur. La face postérieure est démontable, l'étanchéité étant obtenue par la succession de 2 joints toriques en caoutchouc.

Ce boîtier a été testé pour une profondeur de 200 mètres.

Les prises électriques sont du type "aviation étanche". Le boîtier contient un dispositif électronique qui perturbe le balayage de la caméra en cas d'entrée d'eau dans le boîtier, avertissant ainsi l'observateur de la présence d'une fuite.

Après plusieurs essais, une suspension de la caméra dans le boîtier a été réalisée à l'aide d'un bloc de mousse de polyéthylène. Elle a permis d'assurer une liaison semi-rigide satisfaisante. En effet, une fixation trop rigide ou trop lâche entraînerait lors des chocs importants des vibrations telles que le balayage de la caméra en serait altéré.

Projecteurs: Les deux projecteurs sont orientables et fixés sur des bras de part et d'autre du boîtier. Ils sont écartés de 32 cm de l'axe de la caméra. Les lampes 500 watts, 220 volts, sont enfermées dans des manchons de verre refroidis par l'eau de mer ambiante.

Berceau: L'ensemble caméra-projecteurs est solidaire d'un berceau simple dont la stabilité s'est avérée très satisfaisante (Fig. 5).

Boîtier d'alimentation: Un boîtier centralise l'ensemble des commandes et des contrôles.



Fig. 5. L'Ensemble Caméra-Projecteurs dans son Berceau

Sur la face antérieure sont disposés, dans l'ordre d'utilisation :

- un disjoncteur qui réagit soit en cas de surtension dès 230 volts, soit en cas de défaut d'isolement dans le circuit électrique :
- un voltmètre indiquant la tension délivrée par la génératrice du bateau :
- un commutateur à 4 positions commandant l'allumage et l'ampérage absorbé par les projecteurs :
- un poussoir de mise sous tension simultanée de la caméra de télévision, du récepteur, et du dispositif de Kinescopie (ce dernier est mis en action par un bouton séparé, on peut ainsi choisir les moments durant lesquels on procède aux enregistrements) :
- une commutation du passage du balayage entrelacé au balayage non entrelacé.

Toutes les fonctions étant répétées par des indicateurs à lampe néon, l'enregistrement peut être entrepris dans l'obscurité (l'installation est prête pour la kinescopie lorsque tous les voyants sont allumés).

Récepteur: Le récepteur est du type industriel GRUNDIG BG 360, écran de 36 cm. Il est alimenté en 220 volts, 50 Hertz et consomme 110 watts. L'amplitude de réglage du contraste du récepteur est largement suffisante pour compenser les images douces dues à la diffusion de la lumière dans l'eau de mer.

Nous avons le plus souvent utilisé plusieurs récepteurs de ce type en série.

Câbles de liaison:

a) Un câble en acier galvanisé de 10 mm de diamètre maintient le berceau. Ce câble est lové sur un treuil du bateau.

b) Le câble électrique allant du boîtier de la caméra au bloc d'alimentation est autoporteur grâce à un câble incorporé de 3 mm de diamètre (portance 100 kg). Il comprend un câble coaxial d'impédance 75 ohms et 7 conducteurs (4 pour les projecteurs, 2 pour l'alimentation de la caméra, le dernier — avec retour par la masse — permet la commande du relais assurant le passage du balayage entrelacé au balayage non entrelacé).

L'ensemble est gainé et noyé dans une enveloppe de chlorure de vinyle souple. Le câble utilisé mesure 170 mètres et pèse 36 kilogrammes. Il peut supporter une charge de 65 kg et accepte un rayon de courbure de 120 mm. Pour le soulager néanmoins de tout effort, il était délesté de place en place par des flotteurs creux en verre.

L'utilisation d'un câble de 170 mètres n'a pas introduit d'affaiblissement, ni de distorsion du signal. Seuls les courants alternatifs induits dans le câble ont conduit parfois à un assombrissement de l'image par plages.

Dispositif d'enregistrement: Le kinescopage a été réalisé sur film 16 mm Kodak Double X négatif, à l'aide d'une caméra Arriflex. Cette caméra est entraînée par un moteur assurant une cadence de prise de vue de 25 images par seconde. Ce moteur est équipé d'un dispositif permettant de synchroniser l'obturateur avec le balayage du récepteur. La caméra est pourvue d'un objectif Rodenstock de 50 mm de focale, ouvert à f/2,8. Les prises de vues cinématographiques sont réalisées à f/4 (la profondeur de champ ainsi obtenue permet de compenser la légère convexité de l'écran du récepteur).

Lors des enregistrements la caméra de télévision est utilisée en balayage non entrelacé.

Manipulation

La protection du hublot de verre de la boîte étanche contenant la caméra est assurée par une forte plaque d'Altuglas, (métacrylate de méthyle) de 35 mm d'épaisseur, elle-même abritée des chocs directs par une autre plaque plus mince de 4 mm qu'il fallait changer périodiquement. Un intervalle de 1 cm entre ces deux plaques permet une circulation d'eau évitant

l'accumulation de débris. L'ensemble de ce dispositif est solidaire de la face avant du berceau.

Le berceau est suspendu au câble de 10 mm de diamètre et maintenu par une patte d'oie à une inclinaison d'environ 45 degrés sous l'horizontale. Le champ utile de la caméra s'étend ainsi presque de la verticale à l'horizontale.

Le câble électrique multiconducteur, dont le poids est partiellement annulé par les boules de chalut accrochées de place en place, est amarré à l'arrière du berceau.

Le seul déplacement utilisé est la dérive du bateau, due au vent et au courant de surface. Un premier essai a été effectué sur un fond de sable coquillier, près de la bouée Sud Est du plateau. Les résultats ayant été satisfaisants, le „Job Ha Zelian“ s'est alors placé sur la zone de travail effectif. Connaissant la position générale du filin immergée, le navire est amené en „amont“ du milieu de câble (amont par rapport au vent et au courant). Le bateau tire le berceau et le câble électrique libre s'orientant dans le courant + maintient l'objectif face au sens de déplacement.

Le fond rocheux était très irrégulier à cet endroit, et le sondeur du bateau, en fonctionnement continu, enregistrait par moment des dénivellations brusques de 3 à 4 mètres. Il fallait donc sans cesse modifier la longueur du câble porteur, manœuvre grandement facilitée par la présence d'un récepteur de TV dans la passerelle de navigation.

Le matériel de télévision a fonctionné sans interruption, malgré des chocs très violents. Cette longue recherche a permis de filmer des fonds très divers, rocheux et sableux. Lorsque le filin a été aperçu sur le fond, une bouée à orin a été immédiatement mouillée et la caméra remontée.

Le navire a été remonté au vent de quelques centaines de mètres et la caméra réimmergée. Le courant ayant changé de direction, la dérive du bateau ne faisait plus qu'un angle très faible avec la direction du filin immergé. Ceci a permis de le voir longuement et de filmer une des éprouvettes de corrosion (Fig. 6). Une deuxième bouée a été mouillée sur l'emplacement de cette éprouvette.

Par suite des conditions météorologiques défavorables, il n'a pas été possible d'envoyer immédiatement des plongeurs pour récupérer le filin.

Conclusion

Observation directe: Les images sont excellentes et très instructives sur la nature du fond, sa faune et sa flore. L'observation est cependant limitée aux éléments de taille supérieure à quelques millimètres.

L'échelle de ces images était donnée parfois par un filin repère de 10 mm de diamètre, amarré sur le berceau et qui se trouvait dans le champ lorsque

celui-ci se déplaçait en arrière. Les oursins, holoturies et gorgones fournissaient également un critère de taille.

Recherche d'un câble: Le mode d'exploration par observation continue s'est révélé efficace.

Bien que la transparence de l'eau limitait la visibilité, le champ de la caméra s'est révélé très suffisant: le câble recherché ayant pu être identifié deux fois avec certitude.



Fig. 6. Vue du Câble (C) et de l'Eprouvette (E)
La Plaque de Protection du Hublot est tendue par le Travers (F)

Essai du matériel: Le travail en mer exige moins un appareillage perfectionné mais fragile qu'un matériel plus simple mais robuste. L'utilisation d'un ensemble compact a permis un "survol" donnant une idée générale du fond: alors qu'un matériel plus lourd moins manœuvrable eut risqué l'avarie sur un terrain aussi accidenté.

Images enregistrées: Les photographies reproduites dans cet article sont extraites du kinescope; elles ne reflètent qu'indirectement la qualité de l'image observée sur l'écran: en effet, l'obligation d'utiliser un balayage simple au lieu d'un balayage entrelacé, le passage sur pellicule 16 mm, l'établissement à partir du film d'un négatif 6×9 cm amènent une perte de définition très importante liée à un accroissement du contraste. Le tirage d'un positif papier à l'aide d'un agrandisseur classique aurait conduit à l'obtention d'images dépourvues de demi-teintes (BOUHOT et collaborateurs [1]). L'utilisation d'une tireuse/agrandisseuse Log Electronics type Mark II E a permis d'utiliser ces négatifs au mieux. Le papier est impressionné par la lumière induite par le spot électronique d'un tube d'oscillographe revêtu de phosphore bleu P 11, le spot lumineux balayant la surface du négatif. Une partie de la lumière impressionne le papier, l'autre partie le traversant. Cette lumière transmise active un photo-

multiplicateur dont les impulsions sont utilisées pour moduler la vitesse du spot dans une gamme variable de 1 à 100 en fonction de la densité relative du négatif. La modulation du spot corrige la quantité de lumière nécessaire à l'exposition des parties denses et transparentes du négatif. Si la correction était portée à l'absurde, le tirage donnerait un agrandissement d'un gris moyen uniforme. C'est la temporisation automatique du système et le réglage adéquat du "dodging" entre 1 et 10 par l'opérateur qui conduisent à l'obtention d'un tirage Log Egram à contraste compressé. Les valeurs sont compressées et déplacées vers les valeurs moyennes. Les détails qui étaient enregistrés comme de faibles différences de densité sont explicités. A titre d'exemple le cliché Fig. 3 est publié en tirage normal (3 A.) et en tirage Log Egram (3 B.).

La projection du film "Reconnaissance du haut-fond de Rochebonne par télévision sous-marine" (F. LAPIERRE et collaborateurs [5]) donne une très bonne idée des conditions de l'observation directe.

Bibliographie

- [1] BOUHOT, G., J. VALERIEU, A. PAILLE, G. BOILLOT, L. CABIOCH: Essai d'une caméra légère de télévision sous-marine dans la Manche Occidentale. *Research Film*, 5 (1965) n° 4.
- [2] CALLAME, B.: Note sur une exploration du haut fond sous-marin de Rochebonne. *Ann. Soc. Sciences Nat. de la Charente Maritime*, n° 4, fasc. 4-1965.
- [3] CALLAME, B.: Nouvelles observations sur le haut fond sous-marin de Rochebonne. *Ann. Soc. Sciences Nat. de la Charente Maritime*, n° 4, 7-1966.
- [4] KRONENGOLD, M., J. M. LOEWENSTEIN: Cinematography from an Underwater Television Camera. *Research Film*, 5 (1965) n° 3.
- [5] LAPIERRE, F.: La distribution des sédiments dans le Golfe de Gascogne — Intérêt des minéraux lourds. Thèse sciences, Bordeaux 2 vol. 1969.
- [6] MANNEVY, J. H. C.: Les tribulations de la position du plateau de Rochebonne. Service hydro-marine — Paris 1961 — non publié.
- [7] NESTEROFF, W. D., Y. LANCELOT, F. MELIERES: Reconnaissance du haut fond de Rochebonne, Vie et muilie — T XVIII fasc. I-1967.
- [8] PERVINQUIERE, L.: Sur la nature géologique du plateau sous-marin de Rochebonne. *Bull-Soc. Géol. France*, 4ème série, 10, 1910.
- [9] BOUHOT, G., J. VALERIEU, G. BOILLOT, L. CABIOCH: Les fonds marins au large de la région de Roscoff. Film 16 mm — N & B muet, avec notice d'accompagnement. 1966. Disponible à la cinémathèque du S.F.R.S. — 96 Bd Raspail — Paris 6ème — Prêt gratuit.
- [10] LAPIERRE, F., V. ROMANOVSKY, Y. ALIX, G. BOUHOT, A. PAILLE, J. VALERIEU: Reconnaissance du haut-fond de Rochebonne par télévision sous-marine. Film 16 mm — N & B sonore — 1969. Disponible à la cinémathèque du S.F.R.S. — 96 Bd Raspail — Paris 6ème — Prêt gratuit.

Ces deux publications écrites sont accompagnées par des films présentant en kinescopie des vues dynamiques des explorations effectuées :

LES FONDS SOUS-MARINS AU LARGE DE ROSCOFF

16 mm, N et B, 13 mn (1965). Titres français. Muet

Auteurs : L. CABLOCH, Faculté des Sciences, Paris, Station Biologique de Roscoff, G. BOILLOT, Faculté des Sciences, Paris
G. BOUHOT, J. VALERIEN, Centre Audio-Visuel, E.N.S., St-Cloud.

RECONNAISSANCE DU HAUT FOND DE ROCHERBONNE PAR TELEVISION SOUS-MARINE

16 mm, N et B, sonore optique, 18 mn (1969)

Auteurs : F. LAPIERRE, V. ROMANOVSKY, Y. ALIX, Centre d'Etudes et de Recherches Océanographiques, La Rochelle, et G. BOUHOT, A. PAILLE, J. VALERIEN, Centre Audio-Visuel, E.N.S., St-Cloud
Film présenté en illustration à la soutenance de thèse de F. LAPIERRE à la Faculté des Sciences de Bordeaux, 22/3/1969
Recherche CAV, 69/B.

La rédaction d'une autre publication réalisée à l'aide de cette installation est achevée :

CONTRIBUTION A L'ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DU PLATEAU CONTINENTAL EN BAIE D'AUDIERNE PAR TELEVISION SOUS-MARINE

Auteurs : A. St REQUIER, Laboratoire du Professeur GUILCHER, ING, F. INNSBERGER, Faculté des Lettres, Caen, A. TOULEMONT, Institut Océanographique, D. FOURMAINTRAUX, G. BOUHOT, Centre Audio-Visuel, E.N.S., St-Cloud.

Note préparée pour les Cahiers du Service Hydrographique de la Marine. Recherche CAV, 69/70 B.

Des séquences de TV sous-marine ont été utilisées en illustration dans le film :

TECHNIQUES D'EXPLORATION DU FOND SOUS-MARIN

35 et 16 mm, couleurs, sonore optique, 12 mn. Version française
Conseiller scientifique : G. BOILLOT, Faculté des Sciences, Paris
Extraits de films du Ministère des Armées, des Campagnes Océanographiques Françaises et des Requins Associés
Réalisation : G. BOUHOT, J. VALERIEN, Centre Audio-Visuel, E.N.S.

Un film de recherche comportant des séquences de télévision sous-aquatique est en cours d'achèvement :

LIMNOLOGIE DES LACS D'AUVERGNE : recherche conduite en association par le Centre Audio-Visuel, la Faculté des Sciences d'Orsay, le CNRS et le CEA, donnant lieu à un film co-produit par le Centre Audio-Visuel et le Service du Film de Recherche Scientifique, et à une ou plusieurs publications dans des revues scientifiques spécialisées. Coordination scientifique, Professeur R. BROUSSE, Faculté des Sciences d'Orsay.

Le système de télévision sous-aquatique employé, très fiable, est néanmoins susceptible d'améliorations.

3.1.7/ AMELIORATIONS POSSIBLES DU SYSTEME :

Eclairage et perception du relief :

H.E. EDGERTON (1967) passe en revue les moyens disponibles pour réaliser des éclairages sous-aquatiques, il en ressort que seul l'éclairage par incandescence est d'utilisation facile en télévision.

Bien que des bras aient été prévus pour supporter l'éclairage, en raison du champ de prise de vue de 75°, les projecteurs illuminent partiellement le cône d'eau de l'objectif par l'arrière, la condition d'éclairement optimum de D. REBIKOFF (1968) n'est pas respectée.

Les lampes classiques de projection dans leurs réflecteurs produisent deux taches lumineuses au centre du champ. En outre leur puissance symétrique par rapport à l'axe optique empêche la formation d'ombres, ce qui gêne la perception du relief du sujet (J. MIRA, 1970).

Une amélioration prévue consiste à remplacer les lampes utilisées et leurs réflecteurs par des lampes "PAR" à réflecteur incorporé (C.N. CLARK et T.F. NEUBECKER, 1967). Ces lampes assurent une très bonne répartition de l'énergie lumineuse. Elles sont disponibles en 3 exécutions : extensive, médium, intensive. D. REBIKOFF (1968) signale que, pour l'usage sous-marin, ces lampes laissent subsister une tache centrale légèrement plus brillante que l'ensemble du champ, et leur préfère des lampes quartz à cycle d'halogène 3 400° K d'un rendement supérieur placées dans des

réflecteurs spécialement étudiés (il semble avoir abandonné les lampes au xénon dont il ne parle plus).

En raison de la simplicité de l'emploi des lampes "PAR", deux lampes de ce type, de 650 W, vont être utilisées à la place des projecteurs, sur des bras légèrement plus longs. De plus, l'emploi d'une lampe médium à gauche, et d'une lampe extensive à droite, permettra d'obtenir des ombres légères, plus favorables à la perception du relief. Des essais d'immersion de ces lampes, sans protection, à moins 150 mètres, ont montré leur parfaite résistance à la pression.

Kinescopie :

Si les caméras à transit du film rapide (fast pull-down) deviennent accessibles, un équipement de ce type sera essayé.

L'enregistrement des deux demi-images améliorerait la définition et éviterait le renforcement des lignes lors de la copie.

Echelle des images enregistrées :

L'absence d'échelle est gênante lors de l'interprétation.

Une graduation sera placée à la base de la dalle de "Plexiglass" et sera utile pour les premiers plans.

Pour les seconds plans, un "bout dehors" souple portant une échelle perpendiculaire, permettra les mesures. PYE Ltd. (1955) utilise un simple "bout dehors" de 4 mètres qui permet des approximations. Ce "bout-dehors" (pinger en anglais) est constitué par une tige parallèle à l'axe optique, située à la partie supérieure du champ. Les auteurs font remarquer que le fait de le voir assure que la caméra fonctionne correctement lors des immersions, lorsque l'eau est vide de tout objet référence.

Remorquage :

Le système actuel, utilisé aussi en cinéma par R.W. BLACKER et P.M.J. WOODHEAD (1965) jusqu'à 5 noeuds, vitesse qui n'est pas atteinte en dérive, donne satisfaction, mais produit, combiné avec le mouvement de la houle, des sauts brutaux du berceau.

Un ressort amortisseur va être essayé, intercalé entre l'extrémité du câble de traction et le berceau.

Guidage du câble électrique :

Plusieurs ruptures de l'âme du coaxial video étant intervenues pendant les expériences, la prise terminale a dû être recâblée, ce qui demande 1 1/2 heure à terre, et parfois plus de 3 à 4 heures à bord.

Une trompette-guide sera ajoutée à la sortie du câble de la caméra au niveau de la prise.

Traitement du film :

Le négatif ayant enregistré les images "douces" du récepteur de télévision, devrait être traité au-delà du gamma 1 pour en renforcer le contraste, comme le conseillent A.M. SPONNER (1958) et A.B. PALMER (1964). Ce type de traitement n'est pas disponible en France, où seul le traitement standard est effectué à un gamma voisin de 0,65 pour le négatif, et de 2 pour la copie (soit 1,3 pour l'ensemble du processus). Si l'on utilise un développement à gamma élevé, on peut en profiter pour réduire le gamma de l'image du récepteur, qui présente alors un contraste faible, la brillance des noirs se rapprochant de celle des blancs. La rapidité apparente du film d'enregistrement, développé à un fort gamma et utilisé dans la partie sommitale de la courbe caractéristique, étant accrue d'environ 10 fois, un film lent à granulation fine, donc à haute résolution, peut être employé pour la kinescopie.

Agrandissements sur papier :

Le tirage des négatifs extraits par agrandissement du film a été effectué pour la note concernant le plateau de Rochebonne (G. (G. BOUHOT et Coll. , 1969) à l'aide d'une tireuse/agrandisseuse Log-Electronics Mark II E. Ce système, très utilisé pour la reproduction des clichés aériens (IGN, Centres d'Interprétation), des clichés exposés en rayons X (FRIEDLAND, 1963)... est d'un apport certain pour la télévision sous-aquatique. Tous les efforts possibles seront faits pour reproduire les clichés par cette voie. Une étude de la définition résultante à travers l'ensemble du système de télévision sous-aquatique sera conduite en parallèle.

Une étude est entreprise actuellement à une échelle plus générale :

AMELIORATION PAR LE SYSTEME LOGETRON DES TIRAGES PAPIERS
OBTENUS A PARTIR D'IMAGES ISOLEES DE FILMS
G. BOUHOT, Centre Audiovisuel, ENS St-Cloud
Research Film (publication acceptée en cours de rédaction)
Recherche CAV 1969/70 - 69 B.

3.1.8/ DEVELOPPEMENTS DU SYSTEME :

Les possibilités d'exploration avec le système actuel du Centre Audiovisuel sont limitées à environ 130 mètres en travail à la verticale en raison de la résistance du caisson, et à environ 100 mètres en remorquage en raison de la flèche du câble dont la longueur totale est de 170 mètres.

Rien n'empêche de concevoir sur le même principe une caméra pouvant être utilisée à de plus grandes profondeurs travaillant :

- soit à la verticale, un "bout-dehors" indiquant sa position par rapport au fond en contrôle visuel
- soit horizontalement, sur une "Troïka" (berceau conçu par le Cdt. COUSTEAU, se redressant automatiquement après chavirage quelle que soit la nature du fond),

afin de poursuivre des recherches biologiques ou géologiques (A. LABAN et Coll., 1963). Remarquons au passage que ces auteurs évoquent la nécessité d'étudier le comportement d'Ophiothrix quinquemaculata D. Chiage, nous avons nous-même constaté la position inattendue des bras d'Ophiothrix fragilis Abildg..

La définition du programme d'un nouveau système de télévision sous-aquatique est en cours d'étude avec la collaboration d'un membre du CNEXO. Une caméra, montée sur un "planeur" sous-marin muni de gouvernes régulées par détection par ultrasons, va survoler le fond à distance constante. H.E. EDGERTON (1963) utilise une technique voisine en photographie par point. Un émetteur d'ultrasons est monté sur le bâti et émet simultanément un signal vers la surface et le fond. En surface, le décalage entre la réception du signal direct et du signal réfléchi sur le fond indique la position de l'appareil photographique. Un système équivalent permettra, dans un premier temps, de piloter le planeur, de la

surface, à faible vitesse. Le pilotage automatique sera ensuite envisagé par asservissement par rapport au fond moyen.

Le montage de deux caméras de télévision permettrait de réaliser des prises de vues en stéréoscopie, et d'accélérer le processus mis au point par HALE et COOK (1962), permettant d'étudier la rugosité des fonds. De tels montages sont rendus faciles, et même possibles dans un boîtier unique, grâce aux caméras de petite taille conçues et construites en série, par exemple par E.M.I. Ltd (1966), 43 mm de diamètre sur 114 mm de long pour la caméra proprement dite.

Un domaine qui n'a encore été que peu exploré en océanographie par la télévision, est la surveillance du milieu, en dehors de la présence de l'homme. M. KRONFELD et J.M. LOEWENSTEIN (1965) ont installé, pendant des périodes de 6 mois, à 1 mile de leur laboratoire, par 20 mètres de fond, une caméra de télévision télécommandée. De nombreuses observations ont pu être faites, troublées seulement par la fixation de micro-organismes sur le hublot, et par la concentration du plancton attiré la nuit par les lampes d'éclairage photofloods. Ultérieurement, son et image ont été enregistrés en parallèle. Une caméra de cinéma télécommandée sera accouplée à la caméra de télévision. Sur des fonds très connus comme ceux de Roscoff, une installation de ce type se révélerait précieuse.

La photographie préalable d'un site, par un Hasselblad placé en caisson étanche, avant prélèvement d'échantillons par une pince (R.J. MENZIES et Coll., 1963), serait avantageusement remplacée ou complétée par une caméra de télévision.

Un domaine qui semble aussi fort peu exploré est l'observation d'instruments de mesure. Des appareils photographiques automatiques ont été conçus pour cet usage (C.T. MITCHELL, 1967). L'observation par télévision permettrait l'usage immédiat des données. La télévision favoriserait d'autre part la conception de types nouveaux d'instruments, par exemple pour des mesures de faibles courants à proximité des fonds (les appareils enregistreurs actuels ne donnant pas satisfaction et les observations n'étant pas instantanées).

Beaucoup de travaux sont encore possibles avec l'installation de la télévision sous-aquatique du CAV.

3.1.9/ ETUDE PRELIMINAIRE DU "SATELLITE" SOUS-MARIN :

L'appareillage de ce projet est conçu pour permettre de larguer, sous surveillance visuelle, une balise émettrice d'ultrasons sur un gisement de basalte en place, dans la Chaîne Médio-Atlantique, par -4 500 mètres. La balise est destinée à guider un carottier automatique qui prélèvera un échantillon de ce basalte. Dans ce projet CEA/CNRS/Faculté des Sciences d'Orsay/Laboratoire des Faibles Radio-activités, Gif sur Yvette/CAV, le CAV joue le rôle de maître d'oeuvre en images.

Deux études successives ont été réalisées :

- Dans la première note, les modalités de réalisation du système de télévision de Mariner IV, conçu peu avant par le Jet Propulsion Laboratory, ont été analysées dans l'optique "satellite" sous-marin. Ces données, résumées ci-dessous, ont servi de base aux premières réunions de travail⁺.

Nous sommes partis de l'analyse de l'un des derniers systèmes de transmission d'image entièrement électronique par télévision, système réalisé par la NASA pour Mariner IV, et qui révèle un certain nombre de problèmes :

- évolution des impératifs de résolution : 160.000 points/image dans la première réalisation (400 lignes à 400 points), 40.000 dans la deuxième réalisation (200 lignes à 200 points),
- transmission par impulsions codées (64 niveaux de gris),
- prises de vues alternées sous filtres rouge et vert,

+ LA TELEVISION DE MARINER IV ET LE "SATELLITE" SOUS-MARIN
G. BOUHOT, Centre Audiovisuel, E.N.S. St-Cloud.
Rapport fourni au CEA, 1.68, dossier n° 1, multigraphié, 5 p.
Recherche CAV, 68/B5.

- correcteur automatique de gain associé à un limiteur (facteur maximum du saut de luminance $\times 3$) ; ce système s'est révélé trop lent en fin de mission,
- reconstitution de l'image sur film par l'intermédiaire d'un tube de télévision,
- contrôle des erreurs de réception par deux émissions différées de 8 jours (10 points déplacés par diffusion).

Cette étude appliquée au "satellite" sous-marin nous a permis de définir la structure du programme :

- la transmission par ultra-sons d'une image fournie par une caméra haute définition (1 200 lignes à 1 000 points) dont les signaux sont codés pour 64 niveaux de gris, demanderait 4 minutes, ce qui est incompatible avec la dynamique de l'expérimentation,
- le système de télévision envisagé au départ doit être simplifié : la transmission en ultra-sons d'une image fournie par une caméra fonctionnant en balayage 200 lignes à 200 points dont les signaux sont codés pour 32 niveaux de gris, demande 3 secondes, auxquelles il faut ajouter 3 secondes correspondant au temps de propagation des signaux jusqu'à la surface,
- le retour des ordres de télécommande par ultra-sons, de la surface au "satellite", demande aussi 3 secondes,
- le cycle prise de vue/transmission/observation/ordre/largage s'étend alors sur environ 10 secondes,
- si l'exploration est effectuée à 3,6 km/h, le satellite aura parcouru 10 mètres avant que le largage n'intervienne ; le système de transmission sans câble semble difficilement utilisable,
- il faut s'orienter vers une caméra de télévision associée à un amplificateur permettant la transmission de l'image par câble de type téléphonique, si possible en temps réel,
- la caméra sera équipée soit d'un Vidicon, soit d'un Orthicon plus sensible mais moins fiable.

- Dans la deuxième note, nous avons défini les caractéristiques techniques essentielles du système de prise de vue, de trans-

mission et de réception en nous appuyant sur un essai pratique⁺ :

- définition des impératifs de la mission (résolution, champ, point de vue, régulation fine en profondeur, surface minimale de la zone à explorer et autonomie, éclairage, transmission simultanée des informations d'une sonde gamma, problème de la couleur),
- l'essai réalisé par la S.E.R.F.L. a servi de base à la discussion : essai en 500 lignes à 500 points, balayage en 10 secondes, signaux transmis par 1 000 mètres de câble Scindex ; le front lumineux de la zone balayée provoque une fatigue visuelle importante, l'association dans la caméra d'un tube à mémoire au tube sensible permettrait de supprimer le front lumineux en analyse lente,
- une image bicolore pourrait être obtenue si l'on associait un tube à mémoire et l'analyse lente (deux positions successives du tube sensible en vert et en rouge, par déplacement d'un filtre derrière l'objectif, seraient réalisées à 1/50 de seconde d'intervalle ; l'image verte serait fournie par le tube à mémoire sans front d'analyse, le front de l'image rouge resterait une gêne),
- deux tubes à mémoire permettraient une analyse bicolore sans front,
- un Orthicon militarisé à déviation électrostatique, consommant 60 W (1 000 fois plus sensible qu'un Vidicon), associé à des tubes à mémoire du type Aviation (vie 2 000 heures), assurerait un système fiable,
- l'éclairage pour que l'autonomie du satellite soit suffisante (l'énergie électrique sera embarquée, car, si elle était transportée par le câble, les phénomènes d'induction créeraient une gêne certaine) doit-être assuré par flash,
- si le tube d'analyse utilisé est un Orthicon ultra-sensible, 0,4 millilux sont suffisants pour obtenir une image,
- tous les systèmes précédents sont conçus sur la base de l'expérience proposée, or l'analyse à la cadence d'une image par 10 s est insuffisante, comme il est apparu dès la première étude,
- d'autre part les carbonates et certains organismes devenant phosphorescents sous l'illumination d'un flash, un obturateur doit être associé au tube d'analyse,

+ PREMIERE ETUDE DE LA TELEVISION DU "SATELLITE" SOUS-MARIN
G. BOUHOT, Centre Audiovisuel, E.N.S. St-Cloud.
Rapport fourni au C.E.A., 3.68, dossier n° 2, multigraphié, 12 p.
Recherche CAV, 68/B5.

- cette complication nécessaire permet, au prix d'un faible supplément électronique et de l'emploi d'un câble video nouveau d'un faible diamètre pouvant être tordu dans le câble principal, d'obtenir une image en couleur en analyse lente à 1 image/seconde (par l'emploi de 3 tubes à mémoire et d'un filtre tournant rouge/vert/bleu synchronisé sur l'analyse) ; ce système semble satisfaisant,
- il faudra étudier la sensibilité du câble video aux coques et au vrillage, ainsi que l'effet gyroscopique entraîné par l'emploi du filtre tournant,
- lors de l'expérience, l'opérateur surveillera les écrans : de la gamma sonde, du sonar et du récepteur dont l'image sera renouvelée toutes les secondes ... la fatigue visuelle liée à la tension nerveuse engendrée par le choix du moment du largage de la balise semble devoir être trop élevée ; elle pourrait être réduite par l'emploi d'un deuxième récepteur dont l'image serait renouvelée toutes les 10 secondes, cadence suffisante lors de la recherche du site adéquat.

Cette deuxième note ayant fait ressortir que l'image reçue devait être renouvelée toutes les secondes et toutes les dix secondes sur deux récepteurs différents, la réalisation d'un film de recherche a été entreprise afin d'étudier les conditions d'observation dans lesquelles l'opérateur sera placé⁺ :

Ces essais montrent :

- que la cadence de renouvellement à une image par seconde, très agréable au début, devient fatigante au bout de quelques minutes ; mais qu'à la vitesse de déplacement de 0,5 m/s, la continuité des images de l'une à l'autre reste compréhensible,
- qu'à la cadence d'1 image toutes les 10 secondes, la fatigue visuelle est moins importante, mais que la continuité d'une image à l'autre n'est pas perçue.

Les deux types d'analyse se complètent comme il semblait a priori.

+ ESSAIS CINEMATOGRAPHIQUES SUR LA CADENCE DE RENOUVELLEMENT DES IMAGES (Essais homothétiques).
Réalisation : G. BOUHOT, Centre Audiovisuel, ENS, St-Cloud
16 mm, N et B, muet, 6 mn, 1968, copie unique. Recherche 68/B5.

Il faudra développer ces essais, car l'opérateur aura à prendre, au cours de l'observation, la très importante décision du largage de la balise ultra-sonore. Son esprit devra donc être dégagé de toute contrainte.

Des essais plus poussés dans ce domaine pourraient être réalisés à l'aide d'un Stereoscan. Dans ce microscope électronique à balayage, la fréquence de renouvellement des images est choisie à volonté de une à plusieurs dizaines de secondes. En outre le renouvellement d'images est effectué sur un écran fluorescent à la manière d'une analyse lente de télévision. Les premières lignes suivant le front d'analyse sont très brillantes et fatigantes pour la vue. Des normes très strictes d'emploi du Stereoscan ont été édictées en raison de ce renouvellement d'images entraînant une fatigue visuelle et nerveuse importante.

3.2/ TELEVISION ET RAYONS X

3.2.1/ INTRODUCTION :

G. WOLF (1957) passe en revue les différents emplois des rayons X, il retient :

- la radiographie directe utilisée surtout dans l'industrie
- la radiographie indirecte utilisée surtout en médecine
 - sans amplificateur de brillance
 - avec amplificateur de brillance
 - avec amplificateur de brillance associé à la télévision
- la radiographie par impulsions (jusqu'à des impulsions inférieures à 10^{-7} seconde), utilisée pour les études en grand ralenti.

Dès le début, la cinéradiologie a intéressé les chercheurs par son aspect dynamique, soit pour suivre les mouvements et des évolutions dans le temps, soit pour mieux appréhender le volume du sujet, soit pour obtenir des films pour l'enseignement, les prises de vues en ralenti étant particulièrement souhaitables.

W.K. von RONTGEN (1895), dès sa découverte des rayons X, reconnaît leur absorption différentielle par les os et les muscles. L'intérêt des rayons X pour l'établissement de diagnostics médicaux est immédiatement reconnu. De très nombreuses études sont entreprises. L'Allemagne conduit une grande partie des travaux fondamentaux, comme en témoigne l'ouvrage de A.R. MICHAELIS (1955). Dès 1936 est publié un livre entièrement consacré à la cinéradiologie (R. JANKER, 1936).

3.2.1.1/ Radiographie directe :

La radiographie directe fait appel à l'émulsion comme moyen d'observation et d'enregistrement. Le sujet est placé contre la pellicule et bombardé par des rayons X émis par le tube radiogène. Après développement du cliché ou du film, l'observation peut être entreprise.

La pellicule doit donc avoir au moins la surface de l'objet étudié. C'est la première méthode qui a été utilisée. Au début, les images obtenues restaient de taille modeste, mais des cadences de plusieurs images seconde pouvaient être atteintes. Avec les images de grande taille, les cadences de prises de vues restaient faibles.

J. MACINTYRE (1897) réalise la première projection ciné-radiologique. Il reprend par le cinéma une série de clichés photographiques analytiques pris sur un écran au platino-cyanure de potassium (radiographie indirecte), et reconstitue les mouvements des membres d'une grenouille. Il réalise aussitôt en radiocinématographie directe, en vrai cinéma, des prises de vues de membres de grenouilles. Une feuille de plomb protège la caméra dont l'ouverture de la fenêtre de prise de vue est seulement recouverte par une feuille de papier noir. Hélas J. MACINTYRE publie peu de notes sur ses travaux.

W. ROUX et BALTHAZARD (1897) sont les premiers à utiliser un milieu contrastant interne qu'ils font ingérer au sujet. Ils étudient les mouvements péristaltiques de l'estomac des grenouilles et des chiens, mais sont limités dans leurs travaux par la faible puissance d'émission de leur tube et par la sensibilité réduite des pellicules.

M.D. CARVALLO (1910) tourne le premier le problème de la sensibilité de l'émulsion en utilisant une pellicule qu'il fait préparer spécialement par les usines Lumière. Il emploie un film de 6 cm de large, perforé avec de l'émulsion couchée sur les deux faces. Il utilise une table d'expérimentation spéciale où les tubes à rayons X sont placés sous le plan de travail. Les 4 tubes à rayons X travaillent alternativement au maximum de leur puissance et sont déplacés en synchronisme avec le film.

Les doses élevées de rayons X et le temps d'exposition du sujet ne sont pas compatibles avec l'expérimentation humaine.

C. KASTLE et Coll. (1909) sont parmi ceux qui mettent au point le système à cassettes. Il ne s'agit plus, pour la prise de vue continue, de l'utilisation d'un film. Chaque plaque sensible est placée dans une cassette étanche à la lumière. L'émulsion est impressionnée par les rayons X, mais l'exposition directe est renforcée par l'incorporation dans la cassette, derrière la plaque, d'un écran sensible transformant le rayonnement X en lumière visible. Il s'agit donc d'un renforcement de l'effet direct par l'effet indirect. Les doses nécessaires sont compatibles avec l'observation humaine. L'entraînement des cassettes est réalisé par voie électromagnétique.

F.M. GROEDEL (1913) utilise des cassettes lourdes pour accélérer leur temps de transfert et arrive à 4 i/s. Pour diminuer la dose de rayons X reçue par le sujet, il utilise une émission par impulsion.

L.G. COLE (de 1910 à 1912 date de publication) réalise des cinéradiographies directes sur un film de 20 cm de large, à la cadence de 6 à 12 i/mn. Ses travaux sont d'autant plus intéressants qu'il invente au passage en 1910 l'animation par "image aérienne", qu'il fait breveter, s'attachant beaucoup plus au côté cinématographique de ses expériences, qu'au côté scientifique.

La technique n'est plus dès lors qu'améliorée :

- par le film, sont facilement obtenues actuellement sur pellicule de 25 cm de large, des images de 25 x 70 cm, Å.S. GIDLUND. A.E. BARCLAY utilise du film Ilford X émulsionné sur les 2 faces, de 12,5 cm de large en rouleaux de 33 mètres. R. JANKER utilise un film de 30 cm de large en rouleaux de 20 m et arrive en 1951 à la cadence de 4 i/s. Cette technique est très coûteuse en surface sensible, en solutions, en machines. Presque 1 m² de pellicule est exposé à la seconde ! Cette technique est réservée à la recherche : la qualité des images est égale à celle des clichés isolés, l'observation des images individuelles se fait sans appareillage. Si l'on désire projeter le film, il faut le réduire en 70, 35 ou 16 mm, ce qui augmente encore le prix d'exploitation.
- par le système à cassettes, on obtient avec 20 cassettes, 6 i/s avec des clichés 25 x 30 cm.

C'est par la méthode directe que P. THEVENARD en 1951 (dans G. GEOFFROY, 1962) a entrepris le film très connu "Aventures d'une mouche bleue", 1955. L'action d'une bulle gazeuse dans la puce pendant la mue y est mise en évidence. L'installation est simple : tube émetteur de rayons X à source de faible surface, caméra sans obturateur servant seulement de défileur de pellicule (le travail est effectué en lumière inactinique), le porte-objet est constitué par un morceau de support de pellicule glissé dans la fente porte-filtre de la caméra, un obturateur rotatif en plomb est fermé pendant 200° lors du transfert de l'image. La cadence de prise de vue pouvait atteindre 32 i/s. Cette installation, perfectionnée avec l'aide du C.N.R.S., permet d'atteindre 48 i/s avec un obturateur pourvu d'une ouverture de 210° et peu blindé, et le vue par vue avec un

obturateur pourvu d'une ouverture de 180° et fortement blindé.

Une application nouvelle, très intéressante, de la radiographie directe est donnée par R.L. SAUNDERS et Coll. (1965). Grâce à l'emploi d'une source de très petite taille, de quelques microns, l'installation fonctionne en microscopie par projection de rayons X de façon continue sous 60 KV, ce qui permet d'étudier des échantillons épais. Un pinceau d'électrons est focalisé dans le vide par deux lentilles magnétiques sur une fine cible métallique qui émet les rayons X. Le sujet est placé dans l'air, près de la source, et la plaque photographique à distance. La modification de la distance commande le grossissement du microscope à rayons X. La définition est égale au diamètre de la source. Cette technique, née de la réalisation de tubes à rayons X à faible surface émissive, est promise à un grand avenir. Sujet et surface sensible pourront avoir en radiographie directe des surfaces très différentes.

3.2.1.2/ Radiographie indirecte :

La radiographie indirecte fait appel à un écran transformant par fluorescence les rayons X en rayons visibles. L'image sur l'écran a sensiblement la même taille que le sujet, car le sujet doit être, en raison de la surface de la source émissive utilisée, placé contre l'écran afin d'obtenir une définition correcte. L'image sur l'écran est reprise avec une caméra normale équipée d'un film normal.

Le Docteur J. COMANDON et le Docteur A. LOMON radiographe des hôpitaux (1911) réalisent la première prise de vue de ce type. Ils utilisent un écran fluorescent bleu, émettant beaucoup d'ultra-violets, et reprennent son image sur de la pellicule Pathé orthochromatique, en utilisant un objectif transmettant l'UV. C'est un objectif calculé par C. FLORIAN, réalisé en quartz et en verre Uviol, ouvert à $f/1,55$. La caméra, entraînée à la main, commande l'interrupteur déclenchant le passage de la haute tension vers le tube de Gundelach. Ils enregistrent l'épaule, le genou et la main de l'homme, ainsi que le thorax et l'abdomen de cobaye et du singe, à 12 i/s. En 1924, le Docteur J. COMANDON sert de sujet pour une prise de vue thoracique. La pellicule est encore si peu sensible, qu'après 2 secondes de prises de vues à 18 i/s, l'intensité demandée au

tube est telle qu'il claque, et qu'en raison de l'intensité du rayonnement subi, le Docteur J. COMANDON contracte une pneumonie.

R. JANKER entreprend ses travaux à l'Université de Bonn en 1926 et commence à publier en 1931.

V. GOTTHEINER (1929), afin d'augmenter le temps d'exposition par image, utilise un obturateur ouvert à 270° . C'est une technique qui sera très largement utilisée.

L. REYNOLDS et Coll. (1950) utilisent une caméra Kodak Special 16 mm, modifiée par l'adjonction d'un moteur électrique et d'une came commandée par un ressort qui assure le transit de l'image en 1 ms. L'obturateur est inutile.

J.G.J. METZNER et F. BECK (1952) réalisent la "Berlin twin camera" : deux caméras dont les obturateurs ouverts à 180° , déphasés d'une demi-période, assurent une prise de vue en continu.

J. REHMAN (1947) atteint une solution plus moderne. La caméra Mitchell qu'il emploie tourne à la cadence de 60 i/s. Elle est dépourvue d'obturateur, et synchronisée sur le courant Américain 60 Hertz. Vers le tube à rayons X, une seule alternance est rectifiée et entraîne une émission de rayons X qui active l'écran. Le film dans la caméra est déplacé pendant l'alternance suivante.

La sensibilité des pellicules augmentant, et les objectifs étant de plus en plus ouverts, toutes les caméras peu modifiées deviennent utilisables. Généralement la cadence est fixe, 25 i/s, et la haute tension synchronisée sur l'ouverture de l'obturateur. Il suffit de protéger l'espace écran/objectif de la lumière parasite ambiante par un soufflet. Le calage d'un objectif ouvert à $f/1$ ou moins, pose quelques problèmes en raison de la faible profondeur de champ de l'image. Le film doit être protégé par du plomb. Une autre excellente solution pour le protéger, très employée, consiste à renvoyer l'image de l'écran vers la caméra par un miroir à 45° . Ainsi la caméra n'est plus située dans le pinceau de rayons X. L'écran normalement utilisé est fluorescent dans le jaune, et un film panchromatique normal est employé pour l'enregistrement.

Dès 1929, B.E. LUBOSHEZ utilise un objectif ouvert à $f/0,625$. G. DJIAN (1935) emploie un objectif ouvert à $f/0,53$, possédant une surface asphérique. L'objectif équivalent, à surfaces sphériques, est ouvert à $f/0,75$. Il atteint avec l'objectif ouvert à $f/0,53$, 30 i/s, puis 60 i/s, ralenti déjà considérable. P. THEVENARD (1948), dans les 2 pages qu'il consacre à la cinéradiologie, signale seulement qu'en 1939 G. DJIAN utilise un objectif ouvert à moins de $f/1$ et qu'il a "inséré" des photographies "dans des journaux d'actualité". En 1934, W. MERTÉ calcule chez Zeiss un R Biotar ouvert à $f/0,85$, longtemps le plus utilisé. En 1946, E.K. KARPELIAN le modifie, et l'ouverture passe à $f/0,6$. Taylor et Hobson fournissent un objectif pour caméra 16 mm ouvert à $f/0,8$, comportant une plaque de correction de SCHMIDT.

Ces objectifs sont coûteux. Si un miroir n'est pas employé, l'objectif doit être protégé du rayonnement direct par un verre au plomb situé entre l'écran et l'objectif, qui pour l'équivalent de 2,7 mm de plomb, absorbe aussi 12 % de la lumière entre 4 300 à 6 800 Å. S'il n'est pas protégé, les constituants métalliques du verre à l'état de solution libre s'agglomèrent en petites particules, surtout dans le crown lourd au barym. Après 1 000 röntgens d'exposition, l'opacité se stabilise vers une perte de 5 % de 5 460 à 5 790 Å, et de 10 % dans le violet à 4 358 Å, les agrégats diffusant la lumière (B. STANFORD, 1941).

Cette technique de radiographie indirecte, beaucoup moins onéreuse que la technique directe, est très utilisée. Les enregistrements sont souvent effectués sur film standard en 70 ou 35 mm, le prix de l'enregistrement étant compatible avec le prix de revient de l'installation de rayons X. La définition est moins élevée qu'en radiographie directe, mais avec l'habitude, le médecin peut parfaitement interpréter les documents. De nombreux travaux de recherche ont été entrepris sur la définition obtenue en radiographie indirecte.

3.2.1.3/ Radiographie indirecte avec intensification :

La radiographie indirecte avec intensification fait appel à un système de renforcement de l'image entre l'écran et la caméra.

A. DAUVILLIER (1928) a proposé le premier système qu'il a mis au point à partir de 1915, "Le Radiophot". Le pinceau de rayons X,

qui analyse le patient, est distribué par les ouvertures d'un disque de NIPKOW tournant à 900 tours/mn. Les points de l'analyse (100, 900 puis 3 600 au cours des mises au point successives) illuminent l'écran. La luminosité de celui-ci est mesurée, et le courant amplifié module une cellule de KERR. Le pinceau qui traverse la cellule est analysé par le disque de NIPKOW, et l'image intensifiée apparaît sur l'écran d'observation. Elle est renouvelée 15 fois par seconde.

Ce système tombe en désuétude malgré les faibles doses de rayonnement utilisées. Il est repris en 1948 aux Etats-Unis. R.E. STURM et R.H. MORGAN en 1948 calculent qu'en raison de la structure discontinue des rayons X, une amplification de 50 fois ne pourra être dépassée.

Or, dès la même année, J.W. COLTMAN (1948) met au point aux laboratoires Westinghouse le premier amplificateur de type moderne, avec un coefficient de 150, "le Fluoricon". L'écran de réception des rayons X, de 12,5 cm de diamètre, est recouvert de sulfure de zinc, et doublé par une photo-surface au césium/antimoine ; cet ensemble est placé à une extrémité d'un tube à vide. L'anode, à l'autre extrémité du tube, de 2,5 cm de diamètre, recouverte de sulfure de zinc et de cadmium, doublée par une fine feuille d'aluminium, constitue l'écran récepteur. Dès 1950, le coefficient 500 est atteint en Allemagne.

Souvent, une caméra de télévision Vidicon est placée derrière l'écran secondaire dont elle amplifie l'image. Nous allons revenir sur ce système largement répandu.

Un amplificateur de brillance doit posséder un haut coefficient d'intensification, mais aussi une bonne définition, un bon contraste, ainsi qu'une bonne égalité d'éclairement de l'image secondaire.

3.2.1.4/ Réalisations futures en radiographie indirecte :

La chaîne-rayons X, écran, amplificateur de brillance, Vidicon, récepteur de télévision- semble pouvoir être réduite à - rayons X, écran, tube d'analyse, récepteur - ou à - rayons X, tube d'analyse, récepteur (B. VALLENCIEN et M. NOIX, 1963).

Dès 1948, l'image d'un écran est reprise en télévision par un tube Image-Orthicon par R.H. MORGAN. Des images du thorax peuvent

être retransmises, mais pas d'images sous-diaphragmatiques. R. JANKER, en 1956, emploie ce système pour ses cours. L'énergie et la dose de rayons X utilisées restent conventionnelles : 80 KV et 3 mA. Les difficultés viennent du rayonnement monochromatique de l'écran sur 5 500 Å, décalé par rapport à la sensibilité maximale du tube de télévision et de la puissance lumineuse disponible très faible. D'autre part, la vie du tube de télévision est limitée à 600 heures. En outre, pour reprendre une image de 40 x 40 cm, la caméra doit être éloignée de l'écran d'environ 50 cm, ce qui représente un inconvénient. Cette voie : la reprise directe par télévision, d'un écran sans amplificateur de brillance, semble sans avenir.

La solution rayons X, tube de télévision sensible aux rayons X, donc l'analyse directe, semble la voie d'avenir. L'absence d'amplificateur de brillance assure une image très définie. Hélas, les tubes d'analyse actuels n'ont que 4 à 5 cm de diamètre et sont en outre peu sensibles.

3.2.2/ L'AMPLIFICATEUR DE BRILLANCE :

J. FEDDMA et J.F. MARQUERINCK (1966) donnent une indication du gain de brillance obtenu à l'aide des amplificateurs de brillance modernes. Sur un écran conventionnel, une dose de 40 microröntgens/seconde induit une brillance de $1,5 \times 10^{-3}$ apostilb (l'apostilb est l'unité de luminance d'une surface diffuse ; luminance de 1 lumen/m²). Avec la même dose, l'image de télévision fournit 200 apostilbs, soit 150 000 fois plus.

G.B. SKINNER et R.G. FRASER (1967) indiquent que les amplificateurs de brillance actuels atteignent un coefficient de 5 000, permettant de travailler en salle claire en vision directe binoculaire ou monoculaire pour un observateur, ou en télévision pour plusieurs observateurs. Ils signalent que l'accoutumance à réaliser des examens par la télévision demande quelques mois de réadaptation. La dose de rayonnement est diminuée de 90 %. Les études dynamiques sont devenues courantes. Ils distinguent la fluoroscopie = vision directe de l'image fluoroscopique (écran de sortie de l'amplificateur), la fluoroscopie télévisée, la

cinéfluorographie = cinématographie de l'amplificateur de brillance et la kinéfluorographie = kinescopie de l'écran du moniteur de télévision. Ces termes précis ne sont pas encore d'emploi courant en France.

Les amplificateurs de brillance actuels sont fournis en 3 diamètres 5 - 7 ou 9 inches. Ces diamètres correspondent à l'écran primaire d'entrée. Sur cet écran est formée l'image en rayons X, qui est une image d'ombres. L'écran primaire est constitué par un écran fluorescent doublé par une photocathode. Cet ensemble transforme l'image formée par les rayons X, d'abord en lumière visible, puis aussitôt en un flux d'électrons. Les électrons émis par la photocathode sont accélérés et focalisés électrostatiquement sur l'écran secondaire d'observation par une source extérieure à 25 000 volts. Ils produisent, par bombardement de l'anode, l'image fluoroscopique (de fluorescence) qui est observée. En raison de leur haute énergie due à l'accélération, et de leur concentration, l'image observée est des milliers de fois plus lumineuse que l'image de fluorescence d'un écran classique. C'est la structure de l'écran de l'anode qui limite la définition. Des éléments d'image de 0,4 mm sont perceptibles pour une différence de contraste de 5 %.

3.2.3/ INTERET DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION ASSOCIE A L'AMPLIFICATEUR DE BRILLANCE

L'image de l'écran de sortie de l'amplificateur de brillance est projetée à l'aide d'un objectif, en général très ouvert, sur la cible sensible du tube de télévision. C'est généralement un Vidicon ou maintenant un Plumbicon qui sont employés. La cible ou photocathode du tube transforme l'image optique en une image de charges électriques qui est balayée et neutralisée par un pinceau d'électrons. Pendant le balayage, les électrons du pinceau affrontent les charges électriques qui ont pris naissance depuis le dernier passage du pinceau. Ces charges électriques sont en chaque point proportionnelles à la lumière incidente. Le pinceau neutralise ces charges. Le courant de décharge forme un signal électrique qui est proportionnel à la portion correspondante de l'image optique. Ce signal est amplifié dans la caméra, puis dans le récepteur. Il est alors appliqué au tube récepteur. Il contrôle l'intensité du pinceau d'électrons qui balaie, en synchronisme avec celui du tube de la caméra, l'écran fluorescent du tube du moniteur. Comme la quantité de lumière produite par le tube du récepteur est proportionnelle à l'intensité du pinceau d'élec-

trons, qui est elle-même contrôlée par le courant de décharge fourni par le tube de la caméra, l'image formée sur l'écran du récepteur est une réplique agrandie, et plus lumineuse, de l'image optique formée sur la cible.

Le Vidicon et le Plumbicon sont moins sensibles et l'image persiste plus longtemps que dans l'Image-Orthicon. Aussi ces 3 types de tubes sont-ils utilisés. L'Image-Orthicon demande une luminosité plus faible de l'écran de sortie de l'amplificateur de brillance, il transmet correctement les mouvements rapides, mais il est sensible aux variations statistiques de la répartition quantique des rayons X (il reproduit le bruit). Le Vidicon produit du traînage qui gêne l'observation des mouvements rapides, les images d'éléments en déplacement rapide sont floues, mais il réduit le niveau de bruit. Le Plumbicon fournit une bonne image des objets en mouvement, donne une image plus contrastée que le Vidicon, mais est sensible au bruit.

De ce fait, le problème du choix est très discuté. Une caméra munie d'un tube Image-Orthicon est beaucoup plus onéreuse qu'une caméra à tube Vidicon ou Plumbicon. Toutes 3 fournissent, à partir d'un même sujet, des images légèrement différentes. Le choix est donc très difficile et plus ou moins subjectif. La résolution fournie par les 3 types d'installations a été étudiée par W. HERSTEL (1963), J. LISSNER et A. GEBAUER (1963). En 16 mm, à 25 i/s, sur une mire de période 1 mm, ils trouvent que le bruit est égal pour des doses égales de rayons X, que le Vidicon traîne plus, et que le Plumbicon associé aux nouveaux amplificateurs de brillance traîne peu. P.J.M. BODDEN (1962) fait remarquer que les études de ce type sont difficiles à mener. Il faut considérer la chaîne : amplificateur de brillance/ouverture de l'objectif de transfert de l'image/sensibilité du film ou de la cible de la caméra de télévision. Si par exemple la sensibilité est trop élevée, trop peu de quanta frappent la cible primaire de l'amplificateur de brillance, la fluctuation quantique est élevée et la résolution mauvaise. Lorsque les éléments de la chaîne sont homogènes, P.J.M. BODDEN trouve que la qualité de l'image finale est comparable, en cinéma et en télévision, à une image directe. A. GEBAUER et J. LISSNER (1963) ont étudié comparativement les amplificateurs de 5 - 7 et 9 inches. L'amplificateur de 9 inches apparaît par sa taille le plus adapté à la moyenne des observations et fournit une très bonne image. Visuellement, son association à un tube Image-Orthicon fournit la meilleure image, même en tenant compte du bruit.

R. JANKER (1962) a étudié la relation résolution/dose de rayons X. Dans ce domaine, les études de L.R. BLANCHARD et J.S. MANCHESTER (1967) sont plus récentes. Ces auteurs lient : dose de rayons X/ résolution/constantes de l'émission de rayons X (KV et mA), et définissent "une figure de mérite" pour chaque type d'association. De tous ces travaux, il ressort que l'utilisation d'un Plumbicon semble actuellement encore le meilleur compromis.

T. HEISE et Coll. (1966) ont proposé une amélioration de l'image de télévision, en limitant le balayage du tube de la caméra à la surface ronde de l'image projetée de l'amplificateur de brillance. W.J. OOSTERKAMP et Coll. (1968) associent une mémoire à tambour, analysée à 3 000 tours/mn, à un circuit en 420 lignes non entrelacées. La mémoire peut conserver 4 images, dont l'une peut être associée ou retranchée au signal délivré par la caméra. Ce système permet par exemple de faire disparaître une structure fixe osseuse, ou de rajouter à l'image d'un système veineux l'image artérielle. En enseignement, l'enregistrement d'un schéma en mémoire pourrait être du plus grand intérêt. H.M. STAUFETER et Coll. (1964) utilisent un tube à rayons X à deux sources en régime pulsé, un amplificateur, et un tube Image-Orthicon. Les deux images sont observées en stéréoscopie en anaglyphes, au moyen des voies verte et rouge d'un système de télévision en couleur. Ces améliorations sont très intéressantes dans le domaine pédagogique.

3.2.4/ KINESCOPIE D'UNE BANDE DE MAGNETOSCOPE :

La partie radioscopique du film "Etude radiocinématographique de la motricité gastro-duodénale" a été enregistrée grâce à une installation de radiologie comportant un amplificateur de brillance de 23 cm (9 inches) et une caméra munie d'un tube Plumbicon et d'un objectif de 50 mm de focale ouvert à f/0,75.

Vingt enregistrements d'environ 12 minutes ont servi de base au travail. Ces longs enregistrements ont été rendus possibles par la faible dose de rayonnement utilisée (constantes radiologiques : 0,3 à 0,5 mA sous 100 à 110 KV). Les séquences intéressantes ont été reprises par kinescopie et, associées à des schémas, elles ont permis la réalisation d'un film d'Enseignement Supérieur édité en 1965 (note publiée en mai 1966).

A.C. KITTLESON et Coll. (juillet 1966) préconisent une technique identique pour les enregistrements.

L'enregistrement direct par cinéfluorographie aurait demandé des doses de rayonnement trop importantes (constantes radiologiques nécessaires : 3 à 6 mA sous 100 à 110 KV) et bien que la définition eût été meilleure, cette solution était inapplicable.

Dans un service de diagnostic, ce système : la kinescopie de séquences choisies d'une bande de magnétoscope, est à recommander. Le stockage magnétique temporaire des images est d'accès rapide, et le sujet subit, lors de l'enregistrement, une irradiation faible. Le stockage permanent d'images est réalisé par kinescopie des séquences intéressantes. L'observation du film est alors possible au ralenti par l'emploi d'un projecteur d'analyse. La conservation de toutes les images magnétiques, ou la kinescopie directe de l'écran d'observation pour chaque examen, sont trop onéreuses. Le choix des séquences pour la kinescopie ne peut être réalisé valablement lors de la première observation.

G.B. SKINNER et R.G. FRASER (1967) font remarquer qu'au point de vue résolution la kinéfluorographie (kinescopie de l'écran du moniteur de télévision), est parfaitement justifiée, la perte principale de définition lors de l'enregistrement intervenant au passage amplificateur de brillance/télévision, la perte au passage télévision/film étant négligeable. Lorsque l'on passe par l'intermédiaire magnétique, on provoque la sommation de la perte télévision/bande magnétique, et de la perte télévision/film, mais cette somme reste inférieure à la perte amplificateur de brillance/télévision, et intervient de ce fait fort peu sur la définition finale.

L'ensemble du dispositif est parfaitement efficace. Ce système permet une irradiation faible du sujet, autorisant des prises de vues de longue durée, dont seules les séquences particulièrement intéressantes sont retenues.

3.2.5/ PUBLICATIONS :

Cette étude a abouti à la publication de la note :
Contribution de la Télévision et du Cinéma à l'Etude de la Motricité Gastro-Duodénale. n. 123 à 128.

**Contribution de la Télévision et du Cinéma à l'Etude de la Motricité
Gastro-Duodénale**

A. PAILLÉ, J. VALÉRIEN et G. BOUHOT, Centre Audio-Visuel de l'Ecole Normale Supérieure de St. Cloud; F. VICARI, Faculté de Médecine de Nancy

Anwendung der Fernsehtechnik und der Kinematographie zum Studium der gastro-duodenalen Motorik. Um genügend lange Aufnahmefolgen (bis zu zwei Stunden) über die gastro-duodenalen Bewegungen bei nur geringer Röntgendosisbelastung zu erhalten, benutzt man einen elektrischen Bildverstärker in Verbindung mit einem magnetischen Bildaufzeichnungsgerät. Die Aufzeichnung von geeigneten Stücken auf Film kann wahlweise entweder direkt vom Bildverstärker oder von den magnetisch aufgezeichneten Aufnahmen durch eine mit der Abtastfrequenz synchronisierten Kamera erfolgen.

Employment of Television and Cinematography to study the Gastro-duodenal Motoricity. In order to obtain a sufficiently long sequence (up to two hours) of the gastro-duodenal movements with minimal dosage of radiation, an electric image amplifier combined with a magnetic image recording machine is used. The recording of essential parts can be achieved either directly from the image amplifier or from the magnetically recorded pictures through a camera which is synchronized with the scanning frequency.

Introduction

Le service de gastro-entérologie de la Faculté de Médecine de Nancy (service de médecine C — professeur F. HEULLY) a conçu avec le Centre Audio-Visuel de l'École Normale Supérieure de St-Cloud un document traitant de la motricité gastro-duodénale, document destiné à l'enseignement. Les difficultés qui ont surgi lors de la réalisation de cette entreprise, n'ont pu être résolues que grâce à l'emploi de techniques spéciales relevant à la fois de la télévision et du cinéma.

L'étude de la motricité digestive ne peut être en effet abordée de façon complète que si l'on dispose d'enregistrements effectués pendant un temps assez long et à une cadence suffisamment élevée (24 images/seconde au minimum).

Faisant appel à un amplificateur de luminance, trois solutions ont été successivement envisagées

- la prise de vue radio-photographique: cette solution a été rapidement écartée, notamment à cause du nombre restreint de clichés possibles par examen (quarante) et de la dose excessive de rayonnements X nécessaire.
- la prise de vue radio-cinématographique: cette solution intéressante permet des cadences de prise de vue variables, allant de douze à deux cents images par seconde, mais là encore, outre que les doses de rayonnement X auraient pu être excessives, les tubes radiogènes actuels ne permettent pas une émission continue de rayonnement compatible avec les enregistrements désirés.

— l'observation par circuit fermé de télévision couplée à un enregistreur magnétique (magnétoscope: cette solution a été retenue), la cadence de prise de vue (cinquante demi-images par seconde) est satisfaisante, l'enregistrement sur bande magnétique offre une autonomie de près de deux heures largement suffisante pour des examens même prolongés; enfin la dose de rayonnement exigée ne dépasse pas les limites d'un examen normal.

Cependant, toutes les séquences enregistrées ne présentent pas un intérêt didactique: une sélection s'impose. La bande n'est communicable qu'après avoir effectué un choix préalable des plans intéressants. Ce montage peut être réalisé à l'aide d'un second magnétoscope. La nouvelle bande ainsi obtenue ne peut être hélas recopiée, la perte de définition devenant trop importante. Il est donc impossible dans ces conditions, d'envisager une diffusion sur bande magnétique de ces enregistrements.

Nous avons tourné cette difficulté en filmant les séquences significatives, réalisant ainsi un kinescope.

Description du matériel (fig. 1)

Équipement radiogène — Le tube à rayons X (1) est un tube Philips, type Rotalix 21955 à foyers commutables, respectivement de $0,3 \times 0,3$ mm

et de 2×2 mm. Il comporte une anode tournante de 90 mm de diamètre et admet une tension maximum de 125 kV. Ce tube est protégé par une gaine de protection en métal moulé revêtu intérieurement d'une couche de plomb et munie d'un ventilateur abaissant le taux d'échauffement de 20 %.

Le diaphragme à commande électrique (2) donne un faisceau de section circulaire pour l'emploi d'un amplificateur de brillance (4), qui couvre un champ de 23 cm de diamètre à 70 cm de distance.

Le générateur, G. MASSIOT, type Diagnodyne 4 B comporte 4 soupapes isolées dans l'huile; le bac à haute tension, le pupitre de commande et l'armoire complémentaire sont séparés.

Amplificateur de luminance (4) — C'est un appareil Philips — type 33252. Son coefficient d'amplification est d'environ 3000. L'écran primaire a un diamètre de 23 cm, le faisceau est concentré sur le champ image dans un diamètre d'environ 20 mm. Cette image est reprise par un objectif de 70 mm de focale ouvert à 1:2. Le niveau d'éclairement de l'écran image varie en fonction de la quantité de rayons X atteignant l'écran primaire.

Distributeur d'image — C'est un distributeur Philips type 36736. Le faisceau lumineux peut être dévié simultanément dans 2 directions, à l'aide d'un miroir semi transparent placé à 45° . La manœuvre en est assurée en moins d'une seconde. Ce miroir permet, soit l'observation par télévision seule, soit le couplage de la caméra de télévision avec la caméra cinématographique ou la caméra photographique. Le miroir semi transparent a une réflexion de 90 % et une transmission de 10 %. Ce distributeur d'image est suivi par un objectif introduisant une inversion et un agrandissement de l'image.

Prise de vue — La caméra photographique donne des clichés 70×70 mm, elle fonctionne en vue à vue automatique. Le marquage des clichés est assuré par un compteur lumineux. Elle est équipée d'un objectif de 240 mm de focale, ouvert à 1:4,6. La bobine débitrice contient du film 70 mm non perforé; la bobine réceptrice peut contenir jusqu'à 40 vues.

Les constantes radiologiques pour la prise de vue photographique sont de 100 mA sous 70 à 80 kV. Cette tension n'est délivrée qu'au moment des prises de vues pendant un temps variant de $\frac{3}{100}$ à $\frac{5}{100}$ de seconde. La caméra cinématographique Camématic 16 mm permet des cadences de prises de vues variant de 12 à 200 images par seconde. Elle est munie d'un objectif de 35 mm de focale, ouvert à 1:1,3. Cette caméra n'accepte que des bobines de film de 30 m.

Les constantes radiologiques pour la prise de vue cinématographique sont de 3 à 6 mA sous 100 à 110 kV.

La caméra de télévision Philips (5) — type XG — 7101 — balayage 625 lignes est équipée d'un tube Plumbicon et munie d'un objectif de 50 mm de focale ouvert à 1:0,75. Cette caméra est dotée d'un contrôle automatique de gain.

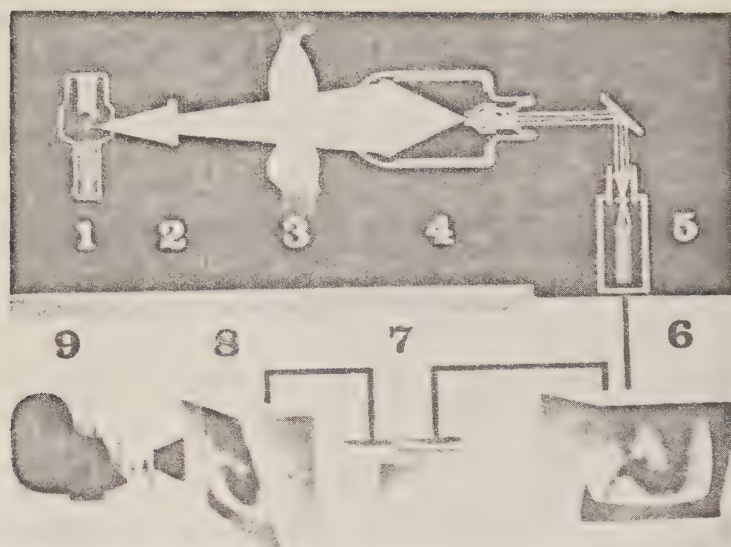


Fig. 1. Schéma de l'installation

1: Tube radiogène; 2: Diaphragme; 3: Sujet; 4: Amplificateur de luminance; 5: Caméra de télévision; 6: Récepteur de contrôle; 7: Magnétoscope; 8: Récepteur principal; 9: Caméra cinématographique

Les constantes radiologiques utilisées sont alors de 0,3 à 0,5 mA sous 100 à 110 kV.

Le récepteur de télévision a un écran de 36 cm.

Enregistrement — Le magnétoscope (7) «De Oude Delft» est muni d'une bande longue de 1045 m. large de 25 mm. qui permet un enregistrement continu d'environ deux heures.

La caméra (9) utilisée pour le kinescopage ultérieur des séquences choisies est une Arriflex 16 mm munie d'un moteur 25 images par seconde, équipée d'un dispositif permettant de synchroniser la prise de vue avec le balayage du récepteur. Elle est pourvue d'un objectif Rodenstock de 50 mm de focale, ouvert à 1:2.8. Les prises de vues cinématographiques ont été effectuées sur pellicule négative noir et blanc Gevapan 36.

Réalisation des Enregistrements

Les expériences ont été conduites sur des étudiants volontaires, âgés de vingt ans et dépourvus de tares pathologiques. Strictement à jeun, ils ont été placés dans des conditions identiques: examens réalisés à la même heure, de face et debout, après absorption de 150 g de Radio Baryx contenant

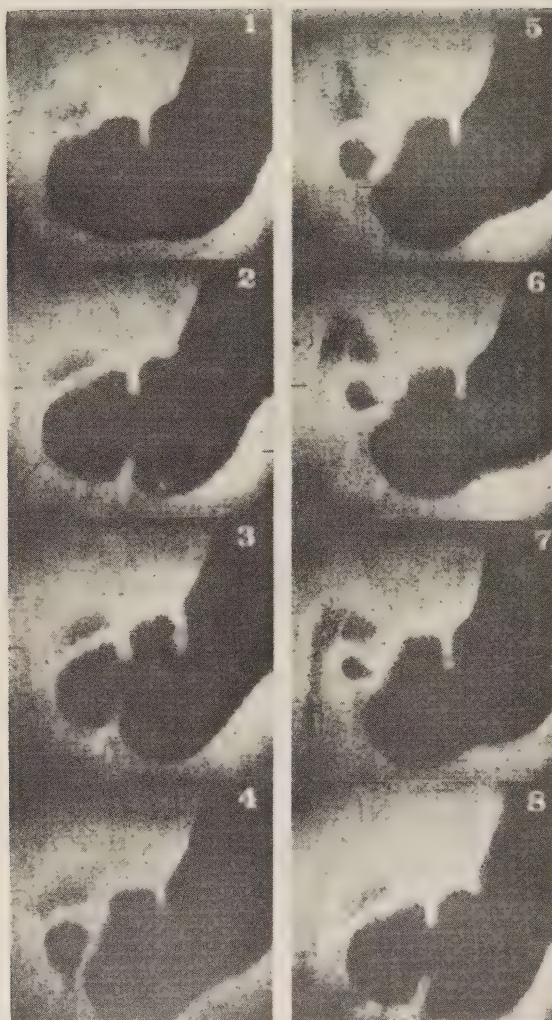


Fig. 2. Isolement du
«canalis egestorius» et
éjection efficace de la
baryte

80% de sulfate de baryum colloïdal en suspension dans l'eau à 17° centigrades.

Les enregistrements ont été réalisés en deux temps:

— tout d'abord 4 heures d'observation ont été mises en réserve sur bande magnétique. (Ces 4 heures correspondent à 20 examens de sujets différents).

— puis, après un tri sévère, enregistrement sur film des séquences les plus importantes.

Les images finalement obtenues (fig. 2) sont de qualité acceptable, compte tenu du fait qu'elles sont enregistrées par le magnétoscope et transférées sur pellicule cinématographique. Les photographies reproduites dans cet article reflètent d'assez loin la qualité de ces enregistrements car s'y ajoutent les inconvénients du transfert sur papier des images du film 16 mm; photographies elles-mêmes reprises par photogravure.

Résultats

La mise au point de ces techniques de report d'une image, obtenue par l'intermédiaire d'un amplificateur de luminance, tout d'abord sur une bande magnétique puis sur un film cinématographique, a permis, après élaboration des documents bruts et adjonction d'un certain nombre de schémas animés, l'obtention d'un film d'enseignement médical particulièrement didactique. Ce film comporte tout d'abord une description succincte du matériel utilisé, puis une présentation de l'anatomie de la région gastro-duodénale à l'aide de schémas enchaînés.

Sont ensuite montrés: — le temps de remplissage de l'estomac par la bouillie barytée, — les mouvements actifs de l'estomac ainsi que les mouvements passifs, — les différentes modalités d'évacuation de la baryte de l'estomac vers le duodénum. Chaque séquence radiologique est suivie d'un schéma animé explicitant le phénomène observé.

Références

- [1] VICARI, F., Apport de l'amplification de luminance et du magnétoscope à la connaissance de la motricité de la région antro-pylorique chez l'adulte sain. Thèse de médecine; Nancy 1965.
- [2] VICARI, F. et collaborateurs, Note préliminaire sur l'apport du radiocinéma et du magnétoscope à l'étude du comportement physiologique de la région antrale de l'estomac. *Annales médicales de Nancy* 5 (janvier 1966), pp. 37—49.
- [3] VICARI, F. et collaborateurs, L'intérêt du magnétoscope dans l'observation radiologique sous amplificateur de luminance. *Annales médicales de Nancy* 5 (janvier 1966), pp. 50—53.
- [4] Étude Radiocinématographique de la Motricité Gastro-Duodénale. Film 16 mm — couleur — sonore optique. Disponible à la cinématèque du Service du Film de Recherche Scientifique — 96, Boulevard Raspail — Paris. Prêt gratuit.

La publication de cette note a été précédée par l'édition d'un film pédagogique destiné à l'Enseignement Supérieur :

ETUDE RADIOCINEMATOGRAFIQUE DE LA MOTRICITE GASTRO-DUODENALE
16 mm, couleurs, sonore optique, 30 minutes, (1965)

Version française

Conseiller scientifique : F. VICARI, Faculté de Médecine de Nancy

Réalisation : A. PAILLÉ, CAV - ENS, St-Cloud.

Ce système d'investigation par les rayons X peut être adapté à toutes les études concernant la physiologie de la nutrition, de même que dans tous les cas où une surveillance prolongée sous rayons X est nécessaire. Le transfert sur kinescope des images magnétoscopées dans ce type de recherches :

- offre une efficacité certaine (seules les séquences adéquates sont kinescopées),
 - entraîne une économie appréciable (après kinescopie des séquences choisies, la bande de magnétoscope est réutilisée),
 - permet le choix des séquences après réflexion (et non à "brûle pour point" comme l'exige la kinéfluorographie directe),
 - autorise l'emploi de doses faibles de rayons X (la cinéfluorographie nécessite des intensités 20 fois plus élevées).
-

3.2.6/ APPLICATION DE LA CINEFLUOROGRAPHIE A LA REALISATION DE FILMS PEDAGOGIQUES :

Bien que les doses de rayons X utilisées pour la kinéfluorographie soient très inférieures à celles utilisées pour la cinéfluorographie, T. HEISE et Coll (1966) indiquent qu'il faut en moyenne respectivement 1 et 20 mA, A. PAILLE et Coll. (1966) 3 à 6 mA et 0,3 à 0,5 mA, l'enregistrement en cinéma reste parfois obligatoire.

La kinéfluorographie implique la reprise de l'image de l'écran de télévision, ce qui impose la cadence de prise de vue à 25 i/s.

Seule la cinéfluorographie, reprise directe de l'écran secondaire de l'amplificateur de brillance, permet de varier la cadence de prise de vue, en général de 6 à 200 i/s, ce qui permet en projection de couvrir de l'accélééré 4 fois au ralenti 8 fois.

Pour utiliser au mieux les 25 mm de diamètre de l'écran secondaire de l'amplificateur de brillance, J.H. HOOD et P.R.W. JONES (1967), travaillant pour la National Heart Association en Australie, ont conçu un appareillage spécial. Classiquement, sur film 35 mm, l'image de l'amplificateur de brillance est enregistrée sous la forme d'un cercle complet de 18,7 mm de diamètre, ou d'un cercle tronqué verticalement au raccord des images, de 22 mm de diamètre. En concevant une caméra dans laquelle l'enregistrement est effectué sur un film entraîné de 6 perforations à chaque changement d'image au lieu de 4, ils enregistrent l'image de l'écran secondaire sur 25 mm de diamètre. Ce système augmente grandement la résolution, surtout lors de l'emploi de films très rapides à gros grains qui limitent la définition tel le Cineflure. L'utilisation d'un obturateur de grand diamètre, découvrant et recouvrant rapidement la fenêtre de prise de vue, pour un faible déplacement angulaire, assure une exposition sur réellement 180°. L'émission de rayons X est pulsée sur cette ouverture, elle est utilisée en émission flash synchronisée. J.H. HOOD et P.R.W. JONES font remarquer qu'avec les obturateurs des caméras conventionnelles, si l'on ne déclenche le tube à rayons X que pendant la période d'ouverture totale, seulement 110° à 100° d'ouverture sont utilisables. L'observation des films qu'ils réalisent est effectuée par l'intermédiaire d'une visionneuse à prisme compensateur donnant une image de 20 cm. Pour l'édition, ces films sont réduits en 16 mm à l'aide d'une tireuse optique spéciale acceptant le

film 35 mm à images sur 6 perforations. Les films 16 mm à grain fin, utilisés pour la copie, associés à un développement à gamma contrôlé, permettent de conserver une grande partie de la définition du film original en 35 mm spécial.

J.A. CAMPBELL et Coll. (1962) ont étudié le problème du contrôle automatique de l'exposition. Il faut tenir compte des caractéristiques de l'amplificateur de brillance et de l'ouverture de l'objectif de transfert. Le dispositif d'affichage des données doit tenir compte de la sensibilité du film utilisé et du gamma de développement. Les constantes radiologiques KV et mA, ainsi que la quantité de rayons X reçue par le sujet, sont mesurées. Lors de l'utilisation, après étalonnage, la quantité de rayons X est amenée au-dessus du seuil de fluctuation quantique, le système assure alors le contrôle automatique de l'exposition.

Ces deux systèmes fort intéressants étaient hors de portée lors de la réalisation des films 8 mm produits par la COFEC, pour l'IPN, au niveau secondaire. Nous avons employé, au Service de Radiologie du Professeur DEGAND, Hôpital de Garches et au Service du Professeur CHERRICIE, C.H.U. Saint-Antoine, des installations très voisines de celle utilisée par le Docteur VICARI (A. PAILLE et Coll., 1966). L'utilisation d'un film 35 mm, traité de façon standard, pour cinématographier l'amplificateur de brillance, donne des images acceptables et suffisantes pour des films d'enseignement dans lesquels on ne s'attache pas à la structure des fins détails. Néanmoins, lors de la reprise en "image aérienne" de séquences, la définition s'est révélée un facteur limitant. L'utilisation du système préconisé par J.H. HOOD et P.R.W. JONES, associé au système de mesure de J.A. CAMPBELL et Coll., serait donc à envisager pour des films au niveau Enseignement Supérieur.

Lors des prises de vues, l'espace clair du champ était atténué par enfouissement du sujet dans du riz. Ce système permet de façon simple de diminuer le contraste normalement trop important entre le fond et le sujet. Il a été mis au point lors des essais d'exposition aux différentes cadences utilisées, jusqu'à 200 i/s.

S. MALÝ et Coll. (1956) signalent dans une publication la cinématographie simultanée de l'image radiologique et d'une courbe d'oscillographe à l'aide d'un simple miroir. Ce système est à retenir

pour la réalisation de films pédagogiques.

Les films en cinéfluorographie actuellement réalisés par le Groupe Sciences Naturelles du C.A.V. et produits par la C.O.F.E.C. pour le compte de l'I.P.N., sont consacrés essentiellement à deux types de sujets humains :

- l'observation dynamique du mouvement des éléments des membres,
- l'observation des phases physiologiques de la digestion.

Ce sont des films 8 mm plan-séquence ("single-concept") muets, en couleurs, dont les animations sont réalisées en "image aérienne". Leur adaptation à des niveaux variés est du ressort du pédagogue qui les présente.

+ Conseillers pédagogiques : J. VALERIEN, A. PAILLE, G. BOUHOT.
Réalisation : G. BOUHOT, A. PAILLE, J. VALERIEN, H. LACOSTE.

. L'ÉPAULE	. LA DIGESTION	: 1. MASTICATION, DEGLUTITION
. FLEXION DU COUDE	. LA DIGESTION	: 2. ESTOMAC
. ROTATION DU COUDE	. LA DIGESTION	: 3. LES INTESTINS
. LA MAIN	. LA DIGESTION	: 4. TRAJET D'UN ALIMENT LIQUIDE
. LE MEMBRE ANTERIEUR	. ETUDE DU COEUR	: ANGIOGRAPHIE

4/ UTILISATION EN RECHERCHE DU CIRCUIT FERME
DE TELEVISION COMME MOYEN D'ELARGISSEMENT
DU DOMAINE PERCEPTIF

4.1/ INTRODUCTION :

W. CLARK (1946), dans son ouvrage, passe en revue tous les emplois de la prise de vue en infra-rouge, spécialement dans le domaine médical, et ne trouve que des photographies réalisées par ce moyen, pas de films.

J. RIECK (1952) rapporte que, pour la première fois en 1933, en Allemagne, le Professeur EGGERT, à une réunion de la "Deutsche Kinotechnische Gesellschaft", a montré un document filmé en infra-rouge.

W. BERG (1950) signale un film effectué par R.B. MORRIS, des laboratoires Kodak en Angleterre, qui semble le premier du genre. Il étudie le réflexe de la pupille à différents niveaux d'illumination. Le film IR Kodak sensible de 6 800 à 8 600 Å a été coupé spécialement en 16 mm pour être employé dans une Camera Kodak Special. Deux photofloods n° 1 sont pourvues de filtres Wratten 87, qui laissent seulement passer l'infra-rouge au-delà de 7 500 Å. Ce travail est resté oublié.

K. LORENZ et W. SCHLEIDT (1952) réalisent en 35 mm, à l'aide d'une caméra Askania Z, pourvue de film Kodak IR 135 dont le maximum de sensibilité se situe à 8 500 Å, différents documents sur le comportement nocturne (luttres de souris puis de poissons). Les 500 W nécessaires à l'éclairage d'une aire de 30 cm de côté, détruisaient le filtre infra-rouge en gélatine en 10 minutes, ce qui limitait la durée des enregistrements effectués au hasard dans le noir. Pour les prises de vues en aquarium, 4 fois 500 W rendaient les tournages tout juste possibles.

Cet emploi très tardif des IR en Recherche est en partie expliqué par A.R. MICHAELIS (1955), qui fait remarquer que concentrer suffisamment de rayonnement IR sur un sujet, pour le cinématographier en 16 ou 35 mm, pose des problèmes, comme le confirment les travaux de K. LORENZ et W. SCHLEIDT (1952).

Pourtant, J. BUDER (1926) avait déjà fait ressortir l'intérêt de l'utilisation de l'IR pour les études de comportement.

G. WOLF (1957) pensait que des travaux de ce type allaient se généraliser.

D. BRANDT (1962), par l'emploi d'un flash électronique filtré couplé à une caméra, résout le problème de la puissance de l'éclairage. Sur de la pellicule Agfa Infrarapid 750, il enregistre la circulation sous-cutanée (ceci est possible, car sous quelques millimètres la peau est partiellement transparente à l'IR).

Néanmoins, le problème de l'éclairage n'est pas le seul à résoudre. En effet les objectifs sont corrigés pour le domaine visible du spectre. Lorsqu'ils sont utilisés en infra-rouge, l'image se forme légèrement en arrière du plan qu'occuperait une image formée en lumière visible, à environ $1/200$ de la distance focale. Il faut donc, après avoir assuré la mise au point en lumière visible et placé le filtre IR sur l'objectif, effectuer la correction de tirage (ANONYME, 1961 ; G. BOUHOT, 1969). Néanmoins, avec les objectifs catadioptriques, dans lesquels en principe la réfraction n'est pas impliquée, aucune correction de tirage n'est nécessaire. De même, lors de l'emploi de la pellicule récente Kodak Ektachrome Infrared Aero, l'image étant composée pour moitié en infra-rouge, pour moitié en visible, la mise au point ne doit pas être corrigée. Seule l'utilisation d'une valeur de diaphragme très petite, au-delà de $f/8$, permet d'obtenir une profondeur de champ assurant la netteté simultanée des deux images.

Les prises de vues en infra-rouge sont donc très difficiles à effectuer quelle que soit la méthode utilisée. En effet il faut distinguer en prise de vue infra-rouge, plusieurs domaines :

- la prise de vue en infra-rouge réfléchi, qui est la technique la plus couramment employée en photo et en cinéma, et que nous venons d'évoquer. De nombreux ouvrages ou articles renseignent sur les moyens à mettre en oeuvre (ANONYME, 1961 ; W. CLARK, 1946 ; J.J. SPIRO, 1963 ; H. DENSTMAN, 1968 ; G. BOUHOT, 1969).
- la prise de vue en infra-rouge émis : les moyens mis en oeuvre en photo et en cinéma sont ceux du paragraphe précédent, mais les moyens électroniques leur sont préférés. Ce domaine, la Thermographie, s'éloigne considérablement de notre sujet. Des objectifs spéciaux, très transparents à

l'infra-rouge, ont été mis au point, (H. YOSHINAGA, 1964 et J.N. WHYTE, 1962), ainsi que des filtres interférentiels multicouches : très sélectifs à large plateau, ou à front raide (J. GRANT et Coll., 1962).

- la prise de vue en fluorescence ou phosphorescence infra-rouge provoquée : la lumière d'excitation bleu-vert induit une fluorescence ou une phosphorescence infra-rouge du sujet étudié, qui est enregistrée sur pellicule Kodak High Speed Infrared. L. GIBSON (1962, 1963) a réalisé de nombreuses observations dans ce domaine en pétrographie, minéralogie, paléontologie et botanique. Des études à l'oscillographe sur le temps de décroissance de la phosphorescence des minéraux, après excitation courte par une lampe au xénon pulsée, avaient été effectuées au préalable par R.H. BARNETTE et R.M. MOXHAM (1961), mais pas photographiées.

En ce qui concerne la prise de vue en infra-rouge réfléchi, plusieurs techniques sont possibles :

- la technique classique, mettant en oeuvre la photographie ou la cinématographie sur film sensibilisé à l'infra-rouge.
- la technique mettant en oeuvre un convertisseur d'image, (C.M. CADE, 1961). L'image formée en infra-rouge sur une cible est convertie en électrons, qui, accélérés, donnent une image visible par fluorescence. La reprise de cette image visible, par photo ou en cinéma, conduit à des temps de pose plus courts qu'en photo ou en cinéma infra-rouge direct. La définition est bonne, bien que l'image observée ait en général environ seulement 30 mm de côté. Ces dispositifs sont onéreux et généralement conçus pour l'observation à distance (usage militaire, police des moeurs...). Cette technique est adaptée en recherche à la photographie d'animaux dans leur milieu (Asahi Nocta), mais pas aux travaux de laboratoire.
- la technique mettant en oeuvre une caméra de télévision pourvue d'un tube Vidicon sensible à l'infra-rouge. Des tubes de ce type sont développés depuis plusieurs années (ANONYME, 1955 ; W. HEIMANN et C. KUNZE, 1962 ; A.C. DAVE, 1963) ... mais sont restés longtemps secret militaire. Leur sensibilité, qui s'étend jusqu'aux environs de $20\ 000\ \text{\AA}$, rend même possible leur emploi dans la mesure du rayonnement infra-rouge au-dessus de 250° . Leur sensibilité limitée en-dessous de $30\ 000\ \text{\AA}$ évite que le rayonnement des corps chauffés ne voile les images.

4.2/ ENREGISTREMENT DU COMPORTEMENT ANIMAL

OU HUMAIN DANS LE NOIR ABSOLU

4.2.1/ INTRODUCTION :

Les premières études de comportement animal dans le noir absolu par télévision en infra-rouge entreprises au Centre Audio-Visuel, on été conduites sur une société de termites.

Certains comportements d'animaux peuvent être observés en présence d'un éclairage intense. H. MONTAGNER et Coll. (1967) ont pu dans ces conditions filmer des guêpes sociales sans les troubler.

Le comportement nocturne d'autres animaux n'est pas perturbé par un éclairage discontinu. P.F. NEWELL (1966) a étudié en laboratoire le déplacement nocturne des escargots, en éclairant toutes les 15 secondes le terrarium par un éclair de flash, chaque éclair étant couplé avec une prise de vue.

Par contre le comportement des termites est fortement perturbé en présence de lumière. M. LUSCHER (1955) a filmé des nids de termites ouverts. Il rapporte que l'ouverture du nid et l'éclairage qui s'en suit ne permettent que de filmer un comportement perturbé de la société. La défense par les soldats, et un début de processus de reconstruction effectué par les ouvriers, sont observables. Seuls les ouvriers qui prennent soin de la reine et des oeufs ont un comportement tellement spécialisé qu'il n'est pas perturbé, même par un éclairage violent. Les meilleures prises de vues qu'il obtient sont réalisées en laboratoire. La séquence est "préparée" dans le noir, permettant de réaliser une prise de vue de 30 à 45 secondes si la phase observée lors de l'allumage de l'éclairage est intéressante.

J. DRAGESCO (1957) reprend ce travail. En noir et blanc, en utilisant du TRI X, à 24 i/s, il n'éprouve aucune difficulté à cinématographier, même à f/5, sous le couvert des arbres tropicaux, en légère cinémacrographie, des colonies relativement peu perturbées. En couleur, en Kodachrome I, il en va tout autrement. L'éclairage qui serait le plus adapté, le plein soleil, va jusqu'à tuer les individus sensibles. Les prises de vues ne sont possibles, dans les zones dégagées, que par temps couvert, ou durant les matinées brumeuses. En savane, les prises de vues sont impossibles. Au mieux, le rapport x 2 peut être

atteint. J. DRAGESCO pense que la solution idéale serait de réaliser des prises de vues sur pellicule sensible à l'infra-rouge, pendant la nuit, en éclairage artificiel. Mais ce processus en brousse le fait reculer. Il considère d'autre part que les termites sont "si petits", et leurs "détails morphologiques si peu contrastés", que l'application de la prise de vue en IR sur ces animaux est vouée à l'échec.

K. LOFFENZ et W. SCHLEIDT (1952) avaient réalisé, pour étudier le comportement nocturne des vertébrés, des prises de vues sur un champ fixe de 80 cm, donc ni dans le domaine de la cinémacrographie, ni dans le domaine du plan large, et avaient néanmoins eu du mal à réaliser l'éclairage. La cage utilisée pour les souris, et l'aquarium employé pour les poissons, évitaient par leur profondeur limitée un trop grand débattement du mouvement des animaux dans le plan perpendiculaire à l'axe optique.

H.H. HEUNERT (1958), étudiant le phototropisme de la bryone, peut réaliser un éclairage en cinémacrographie, car le sujet très peu mobile - il s'agit d'une pousse de plante - ne pose pas de problèmes de profondeur de champ.

Le matériel - lampes et filtres - s'améliorant, DUHM (1965) parvient à enregistrer les expressions de 5 enfants assis dans une salle de projection - à l'aide de 8 projecteurs infra-rouge - sur film Kodak High Speed Infrared 16 mm.

Ces résultats étaient encourageants, mais l'étude des comportements dans l'obscurité totale restait difficile. Les prises de vues étaient effectuées "à l'aveuglette dans le noir".

L'utilisation d'un circuit fermé de télévision muni d'un Vidicon sensible à l'infra-rouge (dans l'installation du CAV, un Resistron), apporte une solution nouvelle au problème. L'observation est conduite dans une pièce noire, par contrôle sur l'écran d'un moniteur, d'où l'image est envoyée vers un récepteur extérieur devant lequel d'autres personnes peuvent se placer et grâce auquel un kinescope de l'expérience est enregistré.

D'emblée des prises de vues en télémacrovision (prises de vues à forte échelle) ont été réalisées jusqu'au rapport x 5, facteur auquel s'ajoute lors de l'observation visuelle le grossissement dû à la surveillance de l'image sur un récepteur. La tête d'un termite Calotermes flavicollis F., dont la longueur totale est de 5 mm, couvre linéairement la moitié de l'écran des récepteurs de télévision (soit 15 cm sur l'écran de kinescopie). Des rapports plus élevés auraient pu être obtenus s'ils s'étaient avérés nécessaires. La quantité très faible d'infra-rouge employée pour réaliser "l'éclairement" ne perturbe pas la colonie. Les ultrasons émis par le CF de TV semblent aussi sans effet. La cible du vidicon étant sensiblement de la même taille qu'une image de film 16 mm, des images ont été kinescopées jusqu'au rapport x 5.

En quelques jours, peuvent être conduites grâce à cette technique, des observations qui auraient demandé plusieurs années de travail par la voie classique.

4.2.2/ PUBLICATION, DEVELOPPEMENTS :

Cette étude a abouti à la publication de la note :

Utilisation de la Télévision en infra-rouge pour l'Observation d'une Société de Termites p. 141 à 146.

Utilisation de la Télévision en infra-rouge pour l'Observation d'une Société de Termites

G. BOUHOT, A. PAILLÉ, J. VALÉRIEN, Centre Audio-Visuel, Ecole Normale Supérieure, Saint-Cloud et H. VERRON, Faculté des Sciences d'Orléans

Benutzung des Infrarot-Fernsehens zur Beobachtung einer Kolonie von Termiten. Da Termiten lichtscheue Tiere sind, haben die Verfasser eine Kolonie von *Calotermes flavicollis* mit Hilfe einer infrarot-empfindlichen Fernsehkamera aufgenommen. Bei Objektbeobachtung mit Hilfe eines Infrarot-Scheinwerfers wurden kinematographische Registrierungen bis zu fünffacher Vergrößerung erhalten.

Use of Infrared-Television in the Observation of a Termite Colony. Since termites do not like the light, the authors have filmed a colony of *Calotermes flavicollis* with the help of an infrared-sensitive television camera. During subject observation with the help of an infrared-spotlight, cinematographic recordings up to five-fold magnification were obtained.

Introduction

L'action répulsive de la lumière sur les Termites rend l'observation particulièrement difficile dans les conditions naturelles.

Toute brèche faite dans la termitière provoque une entrée de lumière et de courants d'air qui perturbent fortement la société. Certaines espèces (comme *Microtermes edentatus* par exemple) émettent alors des bruits produits sans doute en frappant le support et l'on voit les animaux affluer vers la brèche et la colmater.

Les observations ont été faites ici sur un groupe d'environ 20 individus appartenant à l'espèce *Calotermes flavicollis* qui ne construit pas mais qui vit à l'intérieur du bois où elle creuse des galeries. Ce groupe, prélevé dans une colonie et constitué de larves et de nymphes, avait été mis en élevage quelques jours auparavant dans une boîte de Pétri de 12 cm de diamètre, garnie de sable humide et de débris de bois de micocoulier.

Description du Matériel

Caméra de Télévision: C'est une caméra monobloc transistorisée GRUNDIG FA 41. Alimentée en courant alternatif 220 volts, 50 périodes par seconde, elle consomme 15 watts. Le bloc pèse 4,5 kilogrammes et délivre un signal video complet: il comprend en effet, outre le Résistron, l'alimentation, le diviseur de fréquence, les circuits de déviation, de synchronisation et d'amplification. Le balayage 625 lignes peut être entrelacé (pour les observations visuelles) ou non entrelacé (lors des enregistrements).

Un dispositif électronique fait varier la sensibilité de la caméra aux infra-rouges sur une gamme de plus de 6 diaphragmes. Il est peu fréquent que l'on ait à retoucher le diaphragme de l'objectif.

Tube sensible: Il s'agit d'un RÉSISTRON type I.R. 2000 sensible au rayonnement infra-rouge et très peu sensible au rayonnement visible.

Le remplacement du RÉSISTRON normal 255 IND par le RÉSISTRON I.R. 2000 n'entraîne que quelques réglages des circuits électroniques. Une grande partie du matériel utilisé dans ce travail sert concurremment dans une installation de télévision sous-marine [3].

Optique de la caméra de télévision: L'objectif KINOPTIK ERAX de focale 32 mm, ouvert à $f/1,9$ est associé à un jeu de tubes allonges à vis (au pas de la monture standard C) permettant l'obtention d'images jusqu'au rapport 5×1 sur la surface sensible du tube (de tels rapports de télémacrovision nécessitent l'ouverture du diaphragme et un rapprochement de la source d'infra-rouge).

Pied de la caméra: Le pied en bois LINHOFF, du type classique, permet les mouvements panoramiques (sur 360°) et verticaux (sur 240°).

Support de l'élevage: Un pied de physique à crémaillère à trois mouvements (haut/bas, droite/gauche, avant/arrière) facilite grandement la réalisation des prises de vues en télémacrovision. Par des mouvements combinés, le sujet peut être amené au centre du champ, et la mise au point assurée (la manoeuvre de la bague hélicoïdale de l'objectif est insuffisante et de plus les vibrations impliquées aux tubes et à l'objectif rendent la mise au point délicate par cette voie).

Projecteur: Le projecteur spot, cinéma, est rendu étanche à la lumière par obturation des ouvertures avec du carton et du chatterton.

Le filtre placé devant la lentille de FRESNEL arrête totalement la lumière visible et laisse uniquement passer le rayonnement IR à partir de 0,9 micron.

Il s'agit d'un filtre I.R. FILTER 205 de 10 cm de diamètre, au manganèse.

Dans les observations suivantes, cette source lumineuse a été remplacée par un projecteur de diapositives 24×36 FELTOR utilisant une lampe 220 V, 100 W. Ce projecteur est placé dans une boîte en carton avec des chicanes qui assurent l'évacuation de la chaleur. Le même filtre IR est

utilisé. La répartition et la concentration des IR est meilleure avec cette installation.

Une seule source d'IR est toujours utilisée afin d'obtenir une image présentant des ombres. Cette source est placée de préférence de façon à produire des ombres en bas à droite des objets pour faciliter la compréhension de l'image.

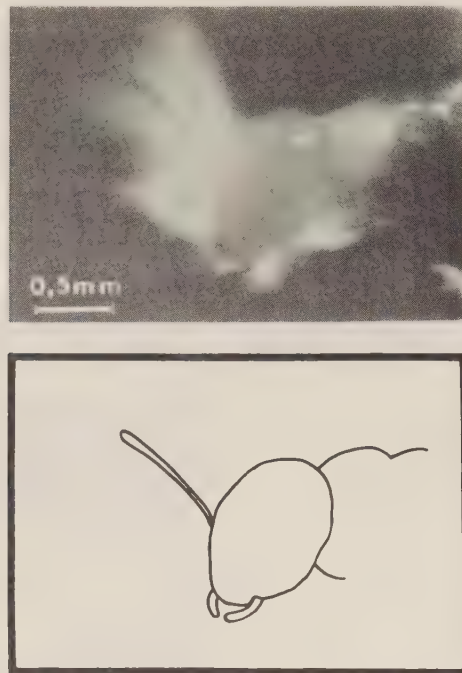


Fig. 1. Détail de la Tête d'un Terme
permettant d'observer antennes et palpes

Récepteur de contrôle: Le récepteur de type industriel GRUNDIG BG. 21, écran de 21 cm est placé dans la chambre d'expérience au ras du sol, sur un berceau incliné, au fond d'un long cône tapissé de velours noir. La faible source lumineuse que représente la sortie du cône est orientée à l'opposé de l'élevage.

Ce récepteur est nécessaire aux deux manipulateurs afin qu'ils puissent suivre les individus de l'élevage et corriger la qualité de l'image (l'un règle la caméra, l'autre la position de l'élevage). Ces réglages s'effectuent dans le noir, la pièce n'étant baignée que par les IR et par le faible halo émis par

le récepteur (halo très insuffisant, même après accoutumance; pour que les opérateurs puissent voir leurs mains).

Récepteur d'enregistrement: Il est placé (en série avec le récepteur de contrôle) dans une pièce voisine légèrement éclairée où se tiennent le biologiste et l'opérateur.

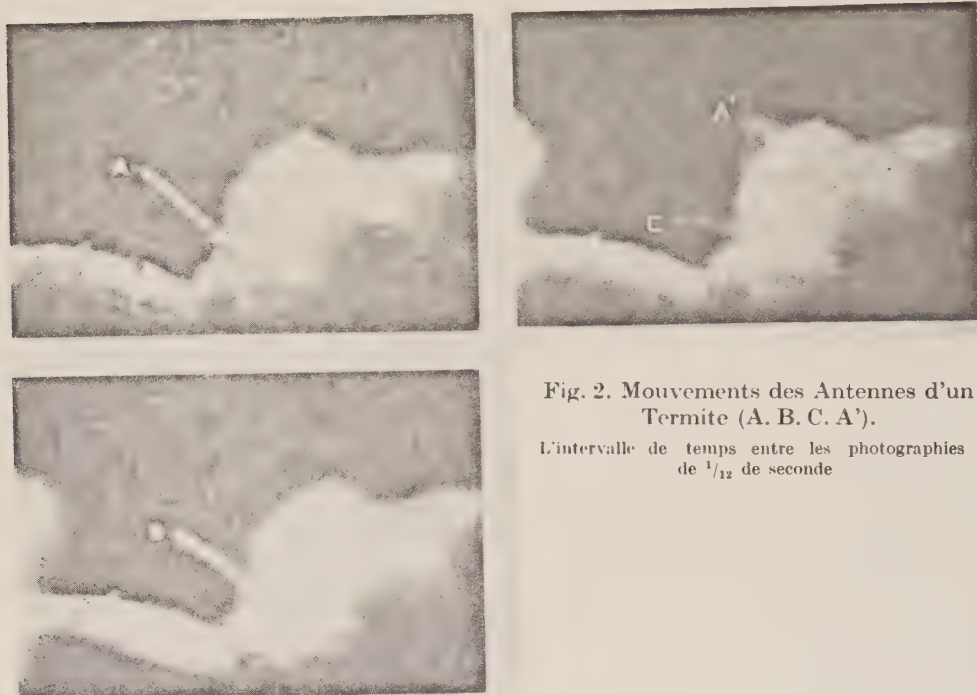


Fig. 2. Mouvements des Antennes d'un Termite (A. B. C. A').

L'intervalle de temps entre les photographies est de $\frac{1}{12}$ de seconde

C'est un récepteur de type industriel GRUNDIG BG 360, écran de 36 cm. Il est alimenté en 220 V, 50 périodes par seconde, et consomme 110 watts. L'amplitude de réglage du contraste et de luminosité du récepteur est largement suffisante pour compenser les imperfections des images réalisées par les deux manipulateurs.

Caméra d'enregistrement: La caméra utilisée pour le kinescopage des séquences choisies est une ARRIFLEX 16 mm munie d'un moteur 25 images par seconde, équipée d'un dispositif permettant de synchroniser la prise de vue avec le balayage du récepteur. Elle est pourvue d'un objectif RODENSTOCK de 50 mm de focale ouvert à f/2,8. Les prises de vues cinématographiques sont réalisées à f/4 (la profondeur de champ ainsi obtenue permet

de compenser la légère convexité de l'écran du récepteur) sur du film KODAK + X. T.V. type 7726, 50 ASA.

Lors des enregistrements, la caméra de télévision est utilisée en balayage non entrelacé.

Appareil photographique d'enregistrement: Quelques prises de vues ont été réalisées à l'aide d'un ROBOT ROYAL 24 format 24×24 mm, utilisant du film 35 mm perforé normal. Il est équipé d'un objectif SCHNEIDER de 75 mm de focale ouvert à $f/3,8$ et muni d'une bonnette de 2 d. Les enregistrements ont été réalisés sur du film KODAK + X Pan 125 ASA. L'entraînement et l'armement sont réalisés automatiquement par un moteur électrique consommant 0,5 ampère sous 24 Volts continu.

Résultats

Comportement de l'élevage: Lors des prises de vues, le couvercle de la boîte de Pétri est ôté.

L'élevage ne semble perturbé:

- ni par le faible halo lumineux issu du cône du poste de contrôle,
- ni par les ultra-sons émis aux environs de 16000 périodes/seconde par le système de balayage de télévision,
- ni par les rares déplacements effectués par les opérateurs dans la pièce totalement close où se déroule l'expérience.

En effet, lorsqu'ils sont exposés à la lumière blanche, les Termites se réfugient rapidement sous les morceaux de bois mis à leur disposition. Or, dans les conditions de la présente expérience, les observations ont été poursuivies de façon continue, au cours de périodes de 20 minutes, sans qu'aucun des sujets observés n'ait manifesté la moindre réaction de fuite.

L'observation est d'autant plus aisée que la télémacrovision est effectuée jusqu'au rapport $\times 5$, et que la chaîne de télévision (caméra/récepteur de 36 cm) amplifie encore 30 fois la taille de l'image.

Les images du récepteur, cinématographiées sur pellicule 16 mm, sont enregistrées jusqu'au rapport $\times 5$. En effet la surface sensible du tube RÉSISTRON et la taille de l'image 16 mm sont très voisines. L'amplification par le récepteur est annihilée et l'enregistrement est effectué au même rapport que la télévision.

Les quantités d'IR utilisées n'élèvent pas la température de la colonie de façon sensible même après plusieurs heures d'observations.

Les vues illustrant cet article sont extraites du kinescope. Le transfert sur film altère le contraste de l'image donnée par le récepteur; il en résulte une perte assez sensible de définition. Une nouvelle perte très importante est introduite lors du passage de l'image 16 mm à une sur papier 18×24 cm. Une nouvelle perte est provoquée par la photogravure.

Les photographies ne reflètent donc que d'assez loin la qualité des images mobiles observées sur l'écran.

Observations

Dès les premières prises de vue, des comportements très intéressants ont pu être enregistrés. Les animaux se déplaçant lentement dans le champ de la caméra ont été facilement suivis dans leurs activités. C'est ainsi qu'on a pu observer à loisir des contacts antennaires et des échanges trophallactiques, principalement des échanges proctodéaux. Ces comportements seront analysés dans une publication ultérieure.

Perfectionnements prévus: Pour réduire l'équipe à une seule personne, la caméra d'enregistrement 16 mm utilisée sera une BEAULIEU MR 16 couplée à un boîtier de commande IBAK. Dans ce montage, la barre de stroboscopie est très stable et ne se déplace pas, même après de nombreuses mises en marche. La caméra pourra ainsi être commandée à distance et le biologiste assumera toutes les fonctions, il sera alors totalement maître de sa recherche. Le dispositif expérimental a été manipulé au départ par quatre personnes comme nous l'avons vu.

Bibliographie

- [1] GRASSÉ, P. P.: Ordre des isoptères ou termites — Traité de zoologie. Ant. System. Biol. Masson et Cie., édit., Paris 9 (1949), p. 408—544.
- [2] VERRON, H.: Les bases olfactives du comportement social chez les *Calotermes flavicollis* Fabr. — Vie et milieu. Supplément n° 17 — 1964.
- [3] BOUHOT, G., J. VALÉRIEN, A. PAILLÉ, G. BOILLOT, L. CABIOCH: Essai d'une caméra légère de télévision sous-marine dans la Manche Occidentale — Research Film 5, n° 4 (1965), p. 320—330.
- [4] PAILLÉ, A., J. VALÉRIEN, G. BOUHOT, F. VICARI: Contribution de la télévision et du cinéma à l'étude de la motricité gastroduodénale — Research Film 5, n° 5 (1966), p. 509—514.

Cette publication écrite est accompagnée par un film regroupant les séquences principales enregistrées pendant le déroulé de la recherche, et dont l'analyse a conduit à la publication :

OBSERVATION D'UNE SOCIÉTÉ DE TERMITES PAR TÉLÉVISION INFRAROUGE
Auteurs : G. BOUHOT, A. FAILLÉ, J. VALÉRIEN, CAV, ENS, St-Cloud
Professeur VERRON, Faculté des Sciences de Tours.
16 mm, N et B, sonore optique, 14 mm, en cours de finition.

Ce document, projeté à l'état de bout à bout au Laboratoire d'Evolution des Êtres Organisés, a déterminé le directeur à équiper de circuits fermés de télévision infra-rouge portatifs, conçus dans le même esprit que celui réalisé au C.A.V., les équipes de recherches spécialisées dans les études de comportement. Ces circuits fonctionneront sur batteries, car ils sont destinés à être utilisés sur le terrain, dans la brousse.

Cette technique nouvelle est susceptible de nombreuses autres applications :

- une expérience, tendant à corréler l'activité nocturne des rats et les pics enregistrés dans le dégagement de CO_2 provenant de leur activité respiratoire, a été réalisée à Orsay au Laboratoire de Physiologie de la Nutrition, chez le Professeur CHEVALLIER et va être incessamment complétée ;

- les expériences préparatoires pour l'étude de sociétés de fourmis ont été effectuées au C.A.V. en avril 1970 ; cette recherche va être conduite au début de 1971 ;

- la télévision en infra-rouge est applicable à l'échelle microscopique en particulier en paléontologie (étude des graptolithes, spores, pollens dont la chitine est transparente à l'infra-rouge, W. STURMTER, 1970) ;

- d'autre part elle peut dépasser le cadre de l'emploi en laboratoire : elle se révèle indispensable pour conduire, dans le biotope naturel, des études écologiques et éthologiques sur des animaux nocturnes, ou sur la phase nocturne d'activité d'animaux diurnes. L'absence de toute émission lumineuse et de tout bruit étant particulièrement appréciable (la photographie au flash fait fuir l'animal : on ne saisit qu'une image de

l'activité ; le bruit de déclenchement d'un appareil photo ou d'une caméra serait à lui seul suffisant pour le faire fuir si les enregistrements sur film infra-rouge étaient possibles), cette technique va connaître dans ces domaines une très large gamme d'applications.

- une expérience, ayant pour but d'observer les mimiques d'aliénés pendant le sommeil, en corrélation avec un contrôle électroencéphalographique, sera entreprise à la fin de 1970 à l'Hôpital Psychiatrique de Villejuif dans le service du Professeur BORENSTEIN ; ses modalités ont déjà été définies.

- de la même manière que pour les animaux, cette technique est applicable à l'observation du comportement humain dans l'obscurité dans tous les domaines. En psychologie et en pédagogie, l'enregistrement des réactions à un film peut désormais être effectué, avec efficacité, et les enregistrements multipliés. Cette méthode est beaucoup plus souple que celles appliquées auparavant : l'utilisation de caméras et d'objectifs télécommandés permet d'effectuer des cadrages fonctions du déroulement de l'expérience((ce qui est totalement impossible par la voie photographique ou la voie cinématographique utilisées jusqu'à maintenant). L'emploi de cette technique par les équipes de recherche pédagogique du CAV est à l'étude.

La télévision en infra-rouge est susceptible de nombreuses applications.

4.3/ DISSOCIATION D'UN STIMULUS EN LUMIERE BLANCHE ET DU

RAYONNEMENT CONCOURANT A LA FORMATION DE L'IMAGE

4.3.1/ INTRODUCTION :

Les premières études de ce type ont été conduites au CAV sur la variation du diamètre de la pupille de l'oeil humain en fonction de la lumination.

Beaucoup de travaux dans lesquels la photographie et le cinéma servent de moyen d'enregistrement ont été conduits sur l'oeil.

DODGE (1901) et C.H. JUDD et Coll. (1905) semblent les premiers à avoir utilisé sur l'oeil l'enregistrement cinématographique pour étudier les points de fixation du regard.

K. WEILER (1905) utilise aussi l'enregistrement cinématographique, mais pour étudier le diamètre pupillaire.

A.R. MICHAELIS (1955), qui passe en revue un grand nombre de travaux effectués à l'aide de ces techniques, fait remarquer la précision des recherches effectuées en cinématographie par H. MACHEMER (1933) sur le diamètre de la pupille. Le diamètre de la pupille est mesuré au 1/50 de mm, et le temps de réponse à l'stimulus au 1/100 de s. L'étalonnage en longueur est réalisé par enregistrement à 25 i/s d'un pendule battant avec une amplitude de 3,3 mm. Le calcul de la sinusoïde par rapport à l'observation conduit à un écart de ± 15 microns. L'enregistrement d'un diapason assure la précision des durées à $\pm 0,005$ s.

Différents types d'enregistrements, ne mettant en oeuvre que des caméras conventionnelles (par opposition par exemple à l'utilisation des rétinoscopes et des appareils similaires dont l'emploi n'entre pas dans le cadre de ce travail), ont été décrits récemment :

- enregistrement du diamètre des pupilles en cinéma de 6 à 10 i/s, avec un éclaircissement de 15 à 25 lux au niveau des pupilles (A.R. SHAKHNOVICH, 1959). Cet auteur met en évidence les diminutions du diamètre de la pupille liées à la fixation d'objets changeant de forme ou de couleur, ainsi que l'augmentation du diamètre de la pupille qui accompagne les réflexes de pincement ou d'orientation (son, toucher). Il ne réalise pas d'études en fonction de la lumination.

- enregistrement de la vitesse angulaire du globe de l'oeil pendant le déplacement entre deux points de fixation (A.N. KARPOV, 1959). La mesure de la longueur des segments allongés, dus à la réflexion d'une lampe au néon alimentée en courant alternatif et produisant tous les 1/50 de seconde un éclair de 5,2 millisecondes, permet après étalonnage du système, de calculer la vitesse angulaire du globe de l'oeil.

- enregistrement des points de fixation du regard à l'aide d'un système de prise de vues assujetti à la tête du sujet (N.H. MACKWORTH et E.L. THOMAS, 1963). R.E. PUTMAN (1967) décrit une installation identique, mais scindée en deux parties, moins gênante pour le sujet. Celui-ci regarde à travers un miroir semi-transparent. Une partie du pinceau est envoyée vers l'objectif collecteur qui enregistre le champ visuel du sujet en fonction de la position de sa tête. L'image d'un spot réfléchi par la cornée est superposée, grâce au miroir, à l'image du champ visuel, et envoyée vers l'objectif collecteur. Le spot permet de connaître les mouvements propres des globes oculaires. De l'objectif collecteur, un faisceau de fibres optiques souples conduit l'image à une caméra de 16 mm ou à une caméra de télévision qui est ainsi indépendante du sujet. Ce dispositif est vendu au Japon sous le nom de "MAC Eyemark Recorder".

- enregistrement du réflexe cornéen et de la durée du battement de la paupière (D.G. BURKERT et H. SCHENK, 1967). Ils utilisent une caméra 16 mm à défilement continu lent, dont l'emploi pour la prise de vue courante n'est pas très classique, mais a déjà été réalisé, par exemple par J. HUGUES (1955).

L.R. YOUNG (1963) récapitule un grand nombre de méthodes d'observations utilisées, directes et indirectes. Parmi les méthodes directes, aucune ne fait appel à un rayonnement autre que visible.

Les moyens d'enregistrement pour l'étude du diamètre pupillaire restent classiques :

- D.R. JASTNSKI et W.R. MARTIN (1967) utilisent la photographie,
- W.A. WOTTAWA et D.G. BURKERT (1969) utilisent le cinéma à 2 i/s.

Pourtant, des travaux encourageants dans le domaine de l'utilisation de la télévision d'une part, et des rayonnements hors du visible d'autre part, ont été tentés auparavant :

- J.F. MACKWORTH et N.H. MACKWORTH (1958) étudient les points de fixation du regard par télévision. Ces travaux sont repris par J.W. VAROSSIEAU et DE JONG (1966).

- R.B. MORRIS (1950) a réalisé, comme il a été signalé dans l'introduction de ce chapitre, le premier film tourné en infra-rouge. Il prend pour sujet l'oeil et enregistre la variation de diamètre de la pupille en fonction de la lumenation. Ce travail est resté longtemps inconnu en physiologie, car il a été publié dans un Journal de photographie, et l'auteur ne s'est attaché qu'à la description de la technique mise en oeuvre.

- ce travail est précédé par celui de O. LOWESTEIN (1926). Cet auteur emploie l'ultra-violet pour arriver au même résultat. Il utilise une pellicule noir et blanc classique, car toutes les émulsions sont sensibles à l'ultra-violet. Par contre l'objectif est spécial. Il est parfaitement transparent à l'UV, car ses lentilles sont en quartz. Ce film semble constituer le seul document réalisé en Sciences Naturelles dans ce domaine du spectre. O. LOWESTEIN utilisait de puissants projecteurs pourvus de filtres ne laissant passer que l'UV. La dose d'UV nécessaire pour l'exposition des images faisait courir ^{un} danger certain au sujet. Dans les expériences de R.B. MORRIS, la dose d'IR devait faire courir un danger semblable au sujet.

C'est peut-être ce danger qui constitue la raison essentielle ayant limité jusqu'à maintenant l'emploi des rayonnements infra-rouge et ultra-violet.

L'association d'une source d'IR et d'un tube d'analyse de télévision spécial, un Résistron très sensible à ce rayonnement, fait disparaître ce risque. Néanmoins, lors de nos premiers essais trop prolongés, le sujet a contracté une légère ophtalmie. Ultérieurement, les séances d'enregistrement limitées à une demi-heure n'ont entraîné aucun désagrément pour le sujet.

Le premier emploi de la télévision en infra-rouge pour l'étude de l'oeil semble dû à M. FRANK et M. NERONI (1969). L'infra-rouge leur permet de réaliser sur l'oeil un reflet intense facilitant l'étude des points de fixation du regard. La source est constituée par une lampe de 25 W dont le rayonnement visible est supprimé par un filtre qui ne laisse passer que l'infra-rouge. L'image de l'oeil est reprise par une caméra de télévision munie d'un Infrared-Vidicon, à l'aide d'un objectif de 75 mm ouvert à $f/1,4$ monté à l'extrémité de 20 cm de tube-allonge. Une caméra, pourvue d'un Vidicon normal, reprend l'image examinée par le sujet. Les deux images sont observées en surimpression, un système électronique permettant de ne conserver de l'image infra-rouge que la réflexion du spot.

Le système réalisé au CAV est différent. L'observation est effectuée en infra-rouge, mais seulement, afin de pouvoir faire varier sans répercussion sur la qualité de l'image, le stimulus en lumière blanche. Cette expérience reprend les travaux de R.B. MORRIS (1950) et O. LOWESTEIN (1926), mais la télévision apporte plusieurs avantages :

- la dose de rayonnement IR utilisée est très faible et sans danger pour l'oeil,
- le contrôle visuel de l'image par l'opérateur est possible pendant le déroulement de l'enregistrement (en cinéma, le résultat n'est visible qu'après développement),
- le fait que le sujet peut voir l'image de son oeil lors des réglages permet un travail très rapide,
- la surimpression d'autres images est possible par simple liaison de caméras à l'installation.

Ce système apparaît donc être le seul permettant d'enregistrer, à l'aide d'un appareillage maniable, les réactions à la lumière d'un organe ou d'un organisme, sans variation concomitante de la densité de l'image enregistré.

Cette séparation du stimulus lumineux et du rayonnement servant à former l'image peut trouver de nombreuses autres applications.

4.3.2/ PUBLICATION, DEVELOPPEMENTS :

Le premier travail réalisé grâce à cette technique a été consigné dans la note :

Utilisation de la Télévision en Infra-rouge pour l'Observation des variations du Diamètre Pupillaire en Fonction de la Luminance p. 155 à 159.

Une expérience semblable est en cours, tendant à l'enregistrement de l'expérience classique de PURKINJE.

A. PAILLÉ, G. BOUHOT et D. FOURMAINTRAUX, Centre Audio-Visuel, École Normale Supérieure de Saint-Cloud, Saint-Cloud, France

**Utilisation de la Télévision en Infrarouge pour l'Observation
des Variations du Diamètre Pupillaire en Fonction de la Luminance**

Anwendung des Infrarot-Fernsehens zur Beobachtung der Veränderungen des Pupillendurchmessers als Funktion der Beleuchtung. Bei der Aufnahme der Pupillengröße in Abhängigkeit von der beleuchtenden Lichtstärke stört im allgemeinen der Umstand, daß eine veränderte Beleuchtung des Auges zugleich auch eine Beleuchtungsänderung für die kinematographische Aufnahme bedeutet. Diese kann im allgemeinen nicht rasch genug durch Änderung der optischen Daten unschädlich gemacht werden. Aus diesem Grunde wird hier der Umweg über eine Fernsehaufnahme gewählt, die im Infrarotlicht unabhängig von der sichtbaren Beleuchtung des Auges arbeitet. Die hierzu verwendeten apparativen Einrichtungen werden im einzelnen beschrieben.

Use of infra-red TV in the observation of changes in pupil diameter as a function of illumination. In the filming of pupil size dependent on light intensity one of the problems is that any change in illumination of the eye also means a change in illumination for filming. This generally cannot be countered quickly enough by an alteration of the optical data. For this reason infra-red television, which operates independently of the visual illumination of the eye, has been used. The various equipment involved is described in detail.

Utilisation de la télévision en infrarouge pour l'observation des variations du diamètre pupillaire en fonction de la luminance. Les prises de vues mettant en relief le diamètre de la pupille en fonction de l'intensité de l'éclairage sont généralement gênées par le fait que toute variation de l'éclairage de l'œil entraîne simultanément une variation de l'éclairage de la prise de vue; on ne peut généralement neutraliser cet inconvénient de façon suffisamment rapide, en modifiant les données optiques. C'est la raison pour laquelle on a choisi ici des prises de télévision à lumière infrarouge indépendantes de l'éclairage visible. Une description détaillée est donnée des divers dispositifs employés à cet effet.

Il est relativement aisé de filmer les variations du diamètre de la pupille de l'œil humain, sous l'effet d'agents pharmacodynamiques, ou de facteurs psychologiques, à luminance constante. Il en va tout autrement lorsqu'il s'agit d'enregistrer les variations du diamètre pupillaire en fonction de la luminance. En effet, l'éclairement est alors essentiellement variable et il est presque impossible de modifier la valeur du diaphragme de l'objectif de la caméra en fonction de la variation d'intensité lumineuse (particulièrement pour les bas niveaux d'éclairement en raison de la nonlinéarité de sensibilité des émulsions).

Pour tourner cette difficulté expérimentale, il a été mis au point un dispositif faisant appel au rayonnement infrarouge.

Description du Matériel

Caméra de télévision: C'est une caméra monobloc transistorisée Grundig FA 41. Alimentée en courant alternatif 220 volts, 50 périodes par seconde, elle consomme 15 watts. Le bloc pèse 4.5 kilogrammes et délivre un signal video complet: il comprend en effet, outre le Résistron, l'alimentation, le diviseur de fréquence, les circuits de déviation, de synchronisation et

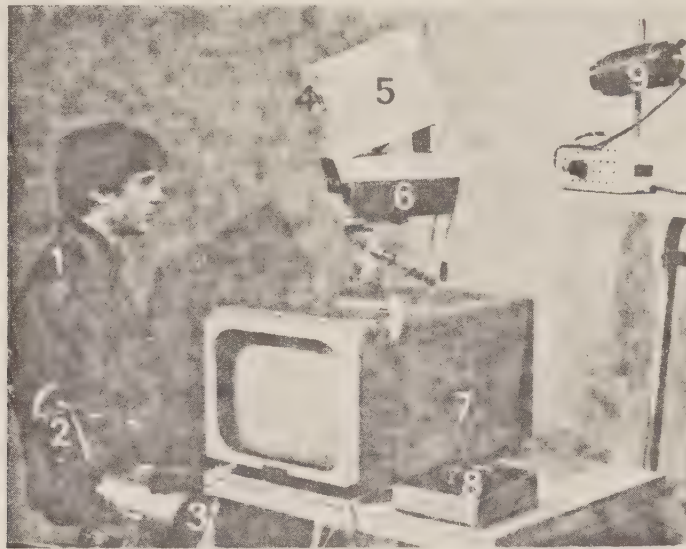


Fig. 1. Installation type

1: Sujet; 2: Caméra d'enregistrement; 3: Moteur spécial pour la kinescopie; 4: Filtre infrarouge; 5: Projecteur infrarouge; 6: Caméra de télévision; 7: Récepteur; 8: Boîtier de commande de l'enregistrement; 9: Projecteur de lumière blanche

d'amplification. Le balayage 625 lignes peut être entrelacé (pour les observations visuelles) ou non entrelacé (lors des enregistrements).

Un dispositif électronique fait varier la sensibilité de la caméra aux infrarouges sur une gamme de plus de 6 diaphragmes. Il est peu fréquent que l'on ait à retoucher le diaphragme de l'objectif.

Tube sensible: Il s'agit d'un Résistron type I. R. 2000, sensible au rayonnement infrarouge et très peu sensible au rayonnement visible.

Le remplacement du Résistron normal 255 IND par le Résistron I. R. 2000 n'entraîne que quelques réglages des circuits électroniques. Une grande partie du matériel utilisé dans ce travail sert concurremment dans une installation de télévision sous-marine.

Optique de la caméra de télévision: L'objectif de 75 mm de distance focale ouvert à $f/2,8$, standard, est associé à un jeu de tubes allonges à vis en monture C.

Projecteur infrarouge: C'est un projecteur de diapositives 24×36 mm FELITOR, utilisant une lampe 220 V — 100 W, dont le filtre anti-calorique a été démonté. Ce projecteur est placé dans une boîte étanche à la lumière, munie de chicanes qui assurent l'évacuation de la chaleur. Un filtre en gélatine Kodak Wratten 87 C monté dans un support Kodak no 1, placé devant l'objectif de projection, arrête la lumière visible et laisse uniquement passer le rayonnement infrarouge à partir de 0,83 micron (seul le filament de la lampe reste visible dans l'axe de la projection).

Projecteur de lumière visible: C'est une lanterne pour microscopie, Wild Heerbrugg, utilisant une lampe basse tension 6 V-5 A, équipée d'un rhéostat permettant des variations d'éclairement allant de la puissance maximale à l'extinction totale. Un filtre catathermique, placé à la sortie du pinceau, élimine suffisamment les infra-rouges pour que ce projecteur reste sans effet sur la qualité des images télévisées.

Récepteur de contrôle: Le récepteur de type industriel Grundig BG 21, écran de 21 cm, placé derrière la caméra de prises de vues, permet au sujet de se positionner de façon correcte pour que l'image de la pupille de son œil occupe le centre de l'écran. Le sujet s'immobilise et le récepteur de contrôle est éteint afin que la lumière diffusée par l'écran n'intervienne pas lors de l'expérimentation.

Récepteur d'enregistrement: Le kinescopage est réalisé sur film 16 mm Kodak TRI X TV inversible type 7727, à l'aide d'une caméra Beaulieu MR 16 pourvue d'un moteur synchrone à stator orientable alimenté à travers un boîtier de commande IBAK. Lors des enregistrements, la caméra de télévision est utilisée en balayage non entrelacé. Cette caméra Beaulieu est équipée d'un objectif grand-angulaire Schneider Cinegon de 11,5 mm de focale ouvert à $f/1,9$. L'ouverture choisie pour les enregistrements est de $f/4$ (la profondeur de champ ainsi obtenue permet de compenser les défauts de mise au point dus à la légère convexité de l'écran du récepteur).

Illustrations de l'article: Elles ont été réalisées sur film 135 Kodak TRI X négatif en format 24×36 mm à l'aide d'un Konica Autoreflex T fonctionnant en mode automatique au $1/30$ de seconde. Le balayage de télévision est employé en non entrelacé. L'objectif Konica Hexanon $f/1,8$ de 52 mm est utilisé par l'automatisme aux environs de $f/5,6$ (la profondeur de champ ainsi obtenue compense les défauts de mise au point dus à la légère convexité de l'écran du récepteur).

Technique Expérimentale

Le sujet place éventuellement son menton sur un appui. Le projecteur infrarouge est réglé de telle façon que l'œil soit uniformément éclairé. Ce

réglage est effectué sur le récepteur de contrôle. Le projecteur de lumière blanche est alors orienté pour que son pinceau lumineux vienne éclairer l'œil observé.

La caméra de télévision n'étant pas sensible au rayonnement visible, les variations d'éclairement entraînant les variations du diamètre pupillaire

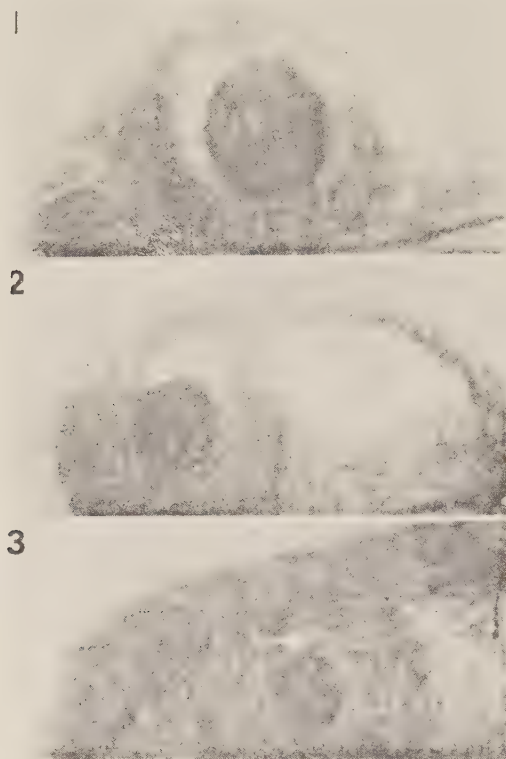


Fig. 2.

- 1: Pupille observée dans l'obscurité totale;
- 2: Pupille moyennement éclairée;
- 3: Pupille fortement éclairée

n'affectent pas la luminosité de l'image de l'œil. Seul un point lumineux, réflexion directe du pinceau de lumière blanche sur la cornée, est visible: il permet, lors de la projection du kinoscope, d'évaluer le niveau de l'éclairement subi par l'œil.

Les images obtenues présentent le flou caractéristique dû à l'usage du rayonnement infrarouge (comme la peau est relativement transparente pour ce rayonnement, ce n'est pas, comme en lumière blanche, une image de la surface qui est obtenue).

Observations

Les mouvements pupillaires ont pu ainsi être observés et enregistrés de façon fidèle. Une variation lente de l'éclairement entraîne une variation concomitante du diamètre pupillaire. Des rebonds d'asservissement s'observent lors de la stabilisation du niveau d'éclairement suivant une variation rapide de celui-ci.

Cette méthode pourrait être quantifiée. Elle peut servir aussi à tester l'action sur le diamètre pupillaire de substances pharmacodynamiques, ou de tous autres facteurs, en l'absence totale de lumière visible.

Note: Le kinoscope de cette expérimentation sera disponible avant la fin de l'année 1970, en prêt gratuit au SFRS, 96 boulevard Raspail, Paris 6e.

Bibliographie

- [1] BOUHOT, G., A. PAILLÉ, J. VALÉRIEN, H. VERRON: Utilisation de la télévision en infrarouge pour l'observation d'une société de termites. *Res. Film* 6, No. 3 (1968), pp. 256—261.
- [2] BOUHOT, G., A. PAILLÉ, J. VALÉRIEN, V. ROMANOWSKY, Y. ALIX et F. LAPIERRE: Exploration d'un fond marin et recherche d'un câble immergé à l'aide d'une caméra légère de télévision. *Res. Film* 6, No. 6 (1969), pp. 559—568.
- [3] ENGEL, Ch. E.: *Photography for the Scientist*. Academic Press 1968, 632 pages, chapitre 7: Infrared Recording par H. LOU, GIBSON. pp. 299—361.
- [4] LOEWENFELD, IRENE: Mechanisms of reflex dilatation of the pupil. *Doc. Ophthalmol.* 12 (1958), p. 185.
- [5] FRANK, M., M. NERONI: A fixation-Point Marker Employing Infrared Light Television. *Res. Film* 6, No. 6 (1969), pp. 554—559.
- [6] WOTTAWA, W. A., D. G. BURKERT: Untersuchungen zum Psychoreflex der Pupille unter Verwendung einer kinematographischen Registriermethode. *Res. Film* 6, No. 6 (1969), pp. 549—554.

La note écrite ne pouvant refléter la dynamique de l'expérimentation, un film sur le sujet a été préparé :

REGULATION DU DIAMETRE PUPILLAIRE EN FONCTION DE LA LUMINATION
(Observation en Télévision Infra-rouge)

Auteurs : A. PAILLE, G. BOUHOT, CAV, ENS, St-Cloud
16 mm, couleurs, sonore optique, 8 mn, en cours de finition.

Une démonstration pratique de cette technique a été effectuée, le 13 octobre 1970, à Bruxelles, devant les membres du Congrès de l'Association Internationale du Cinéma Scientifique, et va donner lieu à une communication écrite dans les actes du Congrès.

Cette technique est aussi utilisable à l'échelle microscopique pour l'étude des micro-organismes, de même, qu'elle peut être appliquée à l'étude des phénomènes physiques ou chimiques.

C'est la technique qui s'impose chaque fois qu'un stimulus lumineux variant rapidement doit être utilisé, alors que l'on désire photographier ou cinématographier l'expérience. C'est une technique indirecte, permettant de dissocier stimulus lumineux et enregistrement.

4.4/ NOUVEAU MOYEN PERMETTANT D'EFFECTUER DES OBSERVATIONS DANS L'OBSCURITE

Lorsque stimulus lumineux et enregistrement visuel doivent être dissociés, le circuit fermé de télévision utilisant un tube sensible à infra-rouge reste le seul moyen d'expérimentation.

Néanmoins, une autre voie de recherche est désormais utilisable lorsque ce sont seulement des observations dans l'obscurité qui sont désirées.

Depuis plusieurs années, des tubes de télévision ultrasensibles au rayonnement visible étaient développés pour les besoins militaires, et parfois cités. B.A. BANG (1961) décrit des tubes de ce type, permettant d'enregistrer des images à des niveaux de lumination inaccessibles à la photographie, l'image finale étant photographiée ou kinescopée sur l'écran du récepteur. Il estimait que, dans les 3 années précédentes, beaucoup de progrès avaient été accomplis, et que la sensibilité de ces tubes équivalait à 100 000 ASA. Il signalait même que, pour les tubes Image-Orthicon développés en recherche, la sensibilité est telle que le point est atteint, où la variation statistique dans la réception des photons devient une gêne pour la continuité de l'observation.

En 1966, un tube multi-étages assurant une intensification de 200 000 fois de la lumière incidente, ce qui équivaut à la possibilité d'enregistrer une image de qualité avec un éclairnement égal à 1 % du plein clair de lune, était déjà réalisé (ANONYME, 1966).

Un tube encore plus sensible, fournissant une image de qualité avec un éclairnement de 0,4 millilux, et supportant sans réglage 50 lux, est désormais disponible commercialement à la S.E.R.E.L. (G. ROUHOT, 1968).

Une caméra de télévision pourvue d'un tube sensible de ce type permet des enregistrements dans des lieux totalement obscurs pour l'œil, et ouvre de nouvelles voies à la recherche. Ne nécessitant pas d'éclairage auxiliaire, la consommation du circuit est très faible. Un

circuit à alimentation autonome est aisément transportable. Son utilisation en écologie et en éthologie, ainsi que pour l'observation du comportement humain à l'obscurité, doit être comparée à l'usage dans les mêmes conditions des circuits fermés de télévision sensibles à l'infra-rouge. Le fait de s'affranchir du rayonnement infra-rouge présente, outre l'économie d'énergie, la suppression d'un danger, qui bien que faible, empêche de réaliser des observations de très longue durée sur les êtres vivants.

5/ ASPECTS DE L'EMPLOI DU CINEMA ET DU CIRCUIT

PERME DE TELEVISION DANS L'ENSEIGNEMENT

5.1/ CINEMA

5.1.1/ INTRODUCTION

Pour qui vient d'un laboratoire de Faculté, entrer dans un service de production de cinéma pédagogique, représente un changement complet de mode de travail et de pensée.

La réalisation d'un film scientifique d'enseignement supérieur ou de recherche, quel que soit son type, du film de synthèse au film muet 8 mm plan-séquence, représente un travail spécialisé très complexe.

L'absence de formation dans ce domaine étant totale, c'est soit un cinéaste qui se forme à la réalisation des films scientifiques, soit un universitaire qui acquiert la technique du cinéma. L'expérimentation de cette deuxième solution, conduite depuis plusieurs années dans les équipes scientifiques du Centre Audio-Visuel, montre qu'elle est de très loin supérieure : il est plus facile de former un cinéaste à partir d'un scientifique, que de spécialiser un cinéaste.

Néanmoins le problème est complexe, "... car si la technique moderne permet à n'importe qui de faire du cinéma, la réalisation d'un film nécessite une formation" (J. PAINLEVÉ, 1963).

La production de films scientifiques s'est lentement instaurée en France :

- recherche, J. COMANDON
- enseignement technique, puis enseignement supérieur, M. CANTIAGREL
- enseignement secondaire, J. BRÉRAULT
- vulgarisation et recherche, J. PAINLEVÉ
- circuits commerciaux, "Série des trois minutes", M. LALLIER (dans P. THEVENARD et G. TASSEL, 1948).

Ces réalisateurs, malheureusement ne se sont pas attachés à décrire leur processus de travail. Quand ils parlent de production, ils ne s'intéressent pour chaque sujet traité qu'au fond et à la forme, et non à la réalisation. Leur production a par ailleurs été freinée par la longue querelle du format substandard idéal. Ce n'est qu'à la suite de la guerre, en 1940, que les Allemands décidèrent la suppression du 17,5 mm Pathé et que le 16 mm aux normes SMPTE l'emporta

sur le 16 mm aux normes DIN. C'est seulement en 1942 que le Musée National Pédagogique introduisit le 16 mm dans l'enseignement (J. VIVIE 1969).

Une source d'information sur la réalisation des films scientifiques semblerait devoir exister dans les revues de spécialité. "Science and Film" débute en 1952, mais même les articles de fond des premiers numéros n'apportent que peu de renseignements :

- R. POLLART (1952) s'attache au problème de la sonorisation et se prononce pour le film muet en couleurs avec sous-titres,
- D.M. Mac KEITH (1952) se prononce en faveur des films sonores, en se fondant sur le fait qu'un commentaire oral, même préparé, ne peut égaler la qualité d'un texte écrit ; il regrette d'autre part la rareté des animations et pose le problème de l'apprentissage par le film,
- W.T. BETTS (1952) recense les emplois du film dans l'enseignement de l'anatomie,
- J. JACOBY (1957), personnage éminent dans le monde du cinéma scientifique, s'attache très longuement à la classification des films.

Dans les traités audiovisuels, le problème est abordé sous le même angle :

- R.M. THOMAS et S.G. SWARTOUT (1960) envisagent l'apport spécifique du cinéma (prise de vue directe, accéléré, ralenti, cinémicrographie, animation), puis classent les films et indiquent des tests d'efficacité et des critères de choix.
- W.A. WITTICH et C.F. SCHULLER (1962) sont guidés par les mêmes préoccupations,
- R. LEFRANC et Coll. (1966), après avoir posé le problème de la sonorisation, s'attachent plus spécialement à l'apport du cinéma par discipline (en physique, généralisation d'une expérience à l'auditoire ; en sciences naturelles, apport des techniques de prises de vues - accéléré et ralenti - problème du 8 mm).

Ces lectures permettent de se forger une idée sur la classification des films, sur leur forme en fonction du contenu pour chaque catégorie, mais n'apportent aucun renseignement sur leur réalisation.

J. PAINLÉVE (1955), dans la conférence "Cinéma et Recherche", après avoir abordé les mêmes sujets, pose le problème du fichier de cinémathèque, de la production possible des films par un organisme centralisé, ou de la production individuelle par les spécialistes des laboratoires ou des firmes privées : ce n'est qu'ensuite qu'il aborde sommairement les problèmes d'éclairage, d'émulsions, de cinéradiographie, de cinémicrographie...,

H. SIELMANN (1955) montre comment la reconstruction en ciment en enclos grillagé, d'un terrier de hamster, a permis de filmer le comportement biologique d'individus nés en captivité, puis il s'intéresse quelque peu au problème de l'éclairage.

J.W. VAROSSIEAU (1957) traite de l'emplacement de la caméra lors de la réalisation de films chirurgicaux, et des problèmes matériels d'éclairage et d'animation.

K. GOLDBERGER (1958) montre que le réalisateur spécialiste de la discipline est à l'aise au cours de la fabrication d'un film, car il connaît les habitudes du milieu dans lequel il évolue et sait où rechercher la documentation visuelle ; au point de vue technique, il signale des méthodes de travail intéressantes :

- l'enregistrement de l'ambiance opératoire pendant l'ensemble du tournage, qui facilite le repérage des plans et l'écriture du commentaire,
- l'utilisation d'une équipe restreinte, réduite à l'opérateur, à son assistant et au réalisateur qui joue aussi le rôle de machiniste et d'électricien,
- la schématisation d'après pièces anatomiques, plus fidèle que l'interprétation des schémas de livre,
- l'utilisation d'objectifs de moins de 80 mm de distance focale en 35 mm, afin de conserver une profondeur de champ suffisante.

Les articles consacrés aux films d'ethnographie et de psychologie apportent beaucoup plus de renseignements :

- K.H. HÖFLING (1964) montre qu'en psychologie, il n'est pas utile de dépenser une partie importante du budget d'un film pour cacher la caméra, qu'il suffit de guider par l'éclairage le point de fixation des sujets vers des éléments du décor afin qu'ils oublient l'environ-

nement technique (que les sujets soient jeunes ou adultes),

- A.M. DAVER (1966) étudie le problème de la prise de son synchrone et "off" (son enregistré en parallèle avec l'image mais sans repère de synchronisation, ou enregistré indépendamment des images), puis il discute le problème de la transcription et de l'édition de la musique africaine,
- P. FUCHS (1966) se penche sur les problèmes posés par la prise de vue en son synchrone.

Ces articles sont centrés sur la technique du son synchrone, peu utile en Sciences. Seules les discussions entre auteurs (rarement incorporables dans un film), ou les présentations au tableau noir - ou magnétique - (mode artisanal d'animation), sont justiciables de cette technique. Elle ne trouve en Sciences une large application qu'au niveau des émissions de télévision kinescopées.

Les traités de cinéma apportent quelques enseignements:

- M. WYN (1964) décrit sur des exemples précis la technique du découpage, technique empirique dépendant du réalisateur, ainsi que les différents types de plans ; mais ce travail n'est axé que sur le cinéma spectacle ; or les contingences du décours d'un film commercial et d'un film scientifique sont extrêmement différentes. L'apport le plus intéressant de cet auteur est la notion de "filmogramme" qu'il développe. Par ce graphique, M. WYN suggère une méthode pour donner une vue synthétique d'un film (donc d'une série de films). Il analyse le film dans sa continuité, il porte en ordonnée l'échelle du plan et en abscisse sa durée. Le graphique en marches d'escalier obtenu renseigne sur la façon dont un réalisateur passe des plans généraux aux plans de détail : régulièrement, en gradation positive ou négative, par inserts (sans transitions) ... Le nombre de marches indique le nombre de plans d'un film. Lorsque la série des films de Géologie Régionale sera plus avancée, il sera intéressant de comparer l'évolution des filmogrammes au cours des réalisations successives.

- Les récents rapports du - Bureau d'Etudes des questions Techniques et Economiques relatives à l'enseignement Audiovisuel - BETEA (1968, 1969) donnent de nombreux renseignements sur la prise de vue en extérieur, en studio, sur les tours de main utilisables à la prise de vue, et sur l'animation ; cependant l'ensemble de la rédaction reste très proche des problèmes posés par le tournage des films spectacles.

- A.R. MICHAELIS (1955) présente une revue très complète des moyens utilisés dans différentes branches scientifiques ; c'est la source la plus intéressante de documentation pour l'étude des techniques de prises de vues propres à un domaine particulier, mais il ne traite ni le problème de la conception d'un film, ni celui de son découpage.

Sur l'animation appliquée à des films à caractère scientifique, la bibliographie est inexistante. Or, G. MÉLIÈS (mort en 1938) ayant créé la plupart des types de trucages dès la naissance du cinéma, les techniques d'animation ont été appliquées depuis longtemps, bien qu'épisodiquement, au cinéma scientifique. D.M. Mac KEITH (1952) souligne que ces applications sont très rares.

P. THEVENARD et G. TASSEL (1948) donnent quelques précisions à ce sujet : J. BRÉRAULT a utilisé vers 1927 des animations simples par surimpression sur photographies, comme dans le film "Les leviers". M. CANTAGREL, vers 1935, a employé à grande échelle ce type d'animation, et surtout le schéma en fondu enchaîné, comme dans le film qu'il a réalisé pour la S.N.C.F. : "Le frein à air comprimé Westinghouse". Les auteurs de l'ouvrage, quant à eux, s'étendent longuement sur la technique et sur la mécanique de la prise de vue en animation au banc-titre, ainsi que sur le tirage en Truca (copieuse optique destinée à réaliser des animations par surimpression d'éléments séparés), mais ne discutent pas de l'insertion pédagogique de l'animation dans un film.

D. SEGALLER (1958) attire l'attention sur le fait que l'animation sensu largo recouvre des techniques très variées. Il oppose en particulier les diagrammes à buts didactiques, et les animations sensu stricto à tendance esthétique. Ayant réalisé de nombreux films pour les firmes pétrolières, il a été amené à employer largement l'animation. Il utilise surtout les surimpressions sur ce qu'il appelle des "nuages". Il marie un petit schéma à une grande image réelle, le petit

schéma apparaissant dans une réserve ou "cloud". Il emploie aussi de petites images réelles apparaissant dans des ouvertures du schéma. Ces animations sont réalisées par surimpression au banc-titre ou en Truca, soit sur des photographies, soit sur des plans réels (dans ce cas, les plans ont été tournés avec beaucoup de précision quant au repérage, en fonction de cet emploi spécial). Ce sont des techniques très voisines qui ont été mises en oeuvre au Centre Audio-Visuel, en 1964, pour la réalisation du film "Du Pelvoux au Viso".

Le passage à la technique plus évoluée de "l'image aérienne" (cf. p 175, 184 , 205) dans les films de pédagogie semble dû à l'Equipe de Sciences Naturelles du Centre Audio-Visuel, à partir du film "Les chaînes subalpines".

En raison du manque d'informations techniques et pédagogiques, la formation des réalisateurs scientifiques pédagogues est donc un fait personnel, et demande 1 à 5 ans suivant les buts poursuivis. Cet artisanat a certainement pour conséquence l'isolement et la faiblesse du cinéma scientifique français.

La formation des réalisateurs en Allemagne, au sein de l'"Institut für den wissenschaftlichen film", est fort différente. Des équipes de jeunes réalisateurs apprennent leur métier au contact des anciens. Néanmoins cet organisme, est surtout axé sur la réalisation de films de recherche, comme la plupart des organismes internationaux de production.

5.1.2/ PROBLEMES DE REALISATION DANS LES FILMS DE SYNTHESE :

En ce qui concerne plus spécialement la réalisation des films d'enseignement supérieur de Géologie Régionale, les documents produits avant que ne débute la série entreprise au Centre Audio-Visuel étaient inexistants. On peut cependant citer "Les Alpes" de J. BRÉHAULT et la "Géologie de la Chaîne des Alpes" de J. PAINLEVÉ, films dont il ne semble plus exister de copies, mais surtout "La genèse des Alpes Françaises" par L. MORET. Dans ce film, dont les dessins sont dus à M. FLAUDER, et qui a été tourné sur les bancs-titres du Service Cinématographique des Armées, les Alpes sont traitées seulement en animation. Sur une carte au relief ombré, les éléments de la chaîne sont mis en

évidence et le bloc diagramme considéré est isolé. Ce bloc est ensuite animé par fondus enchaînés jointifs⁺, vu soit de profil, soit de trois-quarts, et permet à l'auteur de retracer la genèse des Alpes.

Au Centre Audio-Visuel, en Sciences Naturelles, dès le début de la production, les réalisateurs se sont orientés vers la conception de documents de forme très différente. L'image réelle constitue le support de l'ensemble du film : qu'elle soit utilisée sans surcharge, ou qu'elle serve de base à l'établissement des schémas (cf. p 204, 205).

Au cours de la production, notre technique de réalisation s'est affirmée. L'article :

"Recherche sur la Méthodologie de Réalisation de Films Pédagogiques Prototypes en Sciences Naturelles au Niveau de l'Enseignement Supérieur"..... p 171 à 196,
rédigé pour la revue le "Film de Recherche" (publications en cours), fait le point sur notre conception présente, au sujet du processus de réalisation d'un film spécialisé.

+ Dans l'animation réelle, utilisée en général seulement dans les films spectacles, aux 24 images projetées par seconde correspondent 24 dessins différents qui ont été cinématographiés au banc-titre (caméra d'animation à axe optique vertical). En fondus enchaînés jointifs, chaque dessin effectué est enregistré sur le film sur plusieurs images successives ; ce type d'animation est donc moins onéreux puisque, pour une durée de projection déterminée, moins de dessins sont utilisés ; en contre-partie le passage d'un dessin au suivant est moins bon, la projection apparaît saccadée, bien qu'à la prise de vue un dessin soit estompé pendant que l'autre apparaît (fondu enchaîné) ; ces fondus enchaînés se succédant rapidement, la technique est appelée "fondus enchaînés jointifs".

RECHERCHE SUR LA METHODOLOGIE DE REALISATION DE FILMS PEDAGOGIQUES
PROTOTYPES EN SCIENCES NATURELLES AU NIVEAU DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR

G. BOUHOT, Centre Audio-Visuel, Ecole Normale Supérieure de
Saint-Cloud, 92, Saint-Cloud, France.

De très nombreux problèmes sont posés par la réalisation des films d'Enseignement Supérieur. Après beaucoup d'essais, un processus a été mis au point. Il fait l'objet de cet article. Pour chaque paragraphe, c'est la solution actuellement préconisée qui est explicitée. En raison de la complexité des opérations, les paragraphes sont inégalement détaillés. Si tous étaient commentés et les solutions écartées rappelées, ce travail atteindrait le volume d'un livre.

Les solutions retenues l'ont été le plus souvent par expérimentation, mais le cinéma d'enseignement, comme le cinéma spectacle, fait appel à la sensibilité et à l'aptitude à travailler en équipe du réalisateur, facteurs difficilement appréhendables, qui influencent fortement l'application de la méthode.

A/ FILMS

1. UN CONCOURS DE CIRCONSTANCES CONDUIT AU BESOIN D'UN FILM DANS LE CADRE DES TROIS ACTIONS ENTREPRISES EN SCIENCES NATURELLES AU CENTRE AUDIO-VISUEL :

Seuls des films prototypes sont réalisés dans le cadre du Centre Audio-Visuel, la production de série n'est pas envisagée. Comme une production de documents dépourvus de continuité pédagogique se révèle sans intérêt (un professeur ne loue un film pour illustrer ses cours que lorsque ce film d'intègre dans une progression, comme le montrent les statistiques de location), ce sont des ensembles de films prototypes permettant d'effectuer des recherches sur la conception du fond et de la forme qui sont entreprises. Trois axes principaux ont été choisis et donnent lieu à trois types d'expérimentation :

- . la Géologie Régionale (changement du fil conducteur d'un film à l'autre et essai des moyens nouveaux d'animation),
- . l'Océanographie (diversification des sujets : de la recherche à la vulgarisation),
- . la Physiologie Animale (recherches sur la façon de découper les films de travaux pratiques et de travaux dirigés).

C'est la réalisation des films de Géologie Régionale, parce qu'elle présente le maximum de difficultés, et qu'elle exige l'emploi de la couleur en format 35 mm, qui retiendra notre attention. Un film important ne peut être réalisé en noir et blanc pour des raisons psychologiques, mais de plus, en géologie, la différenciation de nuances colorées voisines est nécessaire à l'interprétation d'un paysage ou d'une photomicrographie.

2. CONTACTS CONSEILLER SCIENTIFIQUE/REALISATEUR. DEFINITION DU BUT

PEDAGOGIQUE POURSUIVI. ELABORATION DU CONTENU : Les réalisateurs scientifiques du Centre Audio-Visuel sont des universitaires de la discipline qu'ils mettent en image et qui se sont formés ultérieurement au cinéma. Les contacts conseiller scientifique réalisateur sont ainsi facilités. Le réalisateur de formation universitaire se place facilement sous la dépendance du conseiller scientifique (en général le Professeur de Faculté spécialiste du sujet) et connaît le milieu dans lequel il évolue. Pendant l'élaboration du contenu du film, conditionnée par le but pédagogique poursuivi, travail qui dure 2 à 3 jours, le réalisateur s'efforce déjà de concilier le contenu avec la visualisation, en s'appuyant sur la longue réflexion scientifique et pédagogique du conseiller scientifique. C'est grâce aux qualifications du conseiller scientifique que le réalisateur peut entreprendre un film de niveau universitaire, et éviter de réaliser un film d'auteur. Les solutions impossibles sont écartées. En particulier, le sens de défillement de l'image à la projection doit rester constant pour le confort du spectateur. Le défillement doit être maintenu de la gauche vers la droite, pendant tout le film, car l'hélicoptère, en raison du montage du système anti-vibratoire, impose la prise de vue par la porte gauche. Parfois, au prix de grandes complications et pour une séquence de courte durée, des plans peuvent être tournés en défillement contraire, mais le réalisateur doit éviter cette solution. Au point de vue pédagogique, le contenu est strictement adapté au niveau d'utilisation

prévu pour le film. Ce critère est d'une importance capitale : un film d'enseignement et un film de recherche n'ont ni le même contenu, ni la même forme visuelle. Le film d'enseignement explique, le film de recherche montre. Le film d'enseignement doit être soigné dans le détail, la forme filmique d'un film de recherche est plus sommaire.

Lorsque le réalisateur est un cinéaste qui s'est spécialisé dans le tournage scientifique, il lui est rarement donné de pouvoir saisir les nuances de la spécialité et le massage prévu par le conseiller scientifique est alors distordu.

3. ELABORATION D'UN INVENTAIRE DES RICHESSES DU SUJET : Parallèlement à l'élaboration du contenu du film, le synopsis est rédigé (découpage sommaire en séquences visuelles). Un inventaire complet des richesses du sujet est effectué : livres, guides géologiques, guides régionaux, photographies et schémas utilisés dans le laboratoire pour l'illustration des cours et des publications, sont collectés. Dès ce moment, le réalisateur peut se forger une idée visuelle à l'appui du contenu du film, contenu qui dépend directement et presque exclusivement du conseiller scientifique en raison de sa qualification. Le plan du vol de reconnaissance est établi en conséquence. Chaque fois que plusieurs options visuelles intéressantes sont possibles, elles sont incluses dans le plan de vol.

Synopsis et plan de vol sont les documents de base préparatoires.

4. PRESENTATION D'UNE DEMANDE OFFICIELLE DE REALISATION : Le choix entre les sujets proposés est effectué au niveau du Ministère de l'Education Nationale. Un budget prévisionnel accompagne chaque synopsis. Ce budget est ferme sur tous les points, sauf au niveau de l'animation, pour laquelle un éventail de solutions est proposé avec un coût variant environ dans le rapport 1 à 4 suivant la technique employée.

5. RECONNAISSANCE AERIENNE : Elle est souvent précédée par la participation du réalisateur à une ou plusieurs excursions au sol, organisées par le conseiller scientifique spécialement pour lui ou pour les étudiants. La reconnaissance aérienne est ensuite effectuée en avion et non en hélicoptère, pour des raisons d'économie. Conseiller scientifique/réalisateur/opérateur/photographe, prennent part au vol. Sur les sujets essentiels, l'axe de vol et l'heure de prise de vue sont repérés en fonction des conditions d'éclairage. Les problèmes d'orientation avion/sujet/soleil/vent sont très délicats à évaluer et requièrent une formation certaine. Le réalisateur doit être capable de se repérer par rapport au sol (grâce aux fleuves, lacs, sommets, cols ... les plans de géologie étant souvent tournés en montagne hors des concentrations urbaines), et de tracer sur sa carte l'itinéraire exact du vol. Ce travail est simplifié par le tracé au préalable sur la carte du plan de vol prévu. Le conseiller scientifique, avec l'aide du réalisateur, s'efforce de le faire respecter au pilote qui très souvent n'est pas entraîné à se diriger à basse altitude, en zigzags, sans radiophare. Des pilotes très expérimentés sont nécessaires pour effectuer les évolutions demandées. Les sujets de détail qui seront tournés en hélicoptère ou au sol sont seulement "aperçus". Si un sujet se révèle intournable, la reconnaissance d'un sujet de remplacement est aussitôt incluse dans le plan de vol. De nombreuses photographies nécessaires pour la suite des opérations sont effectuées au cours de la reconnaissance (cf. paragraphes 12.2 - 12.6. - 23 - 25 - 54 - elles seront complétées pendant le tournage). Deux vols d'environ 5 heures effectués en deux jours sont suffisants.

6. ETABLISSEMENT D'UN DECOUPAGE : Le réalisateur ayant "vu" le sujet au cours de la reconnaissance, il établit un découpage en associant le contenu et les images. Dès ce moment sont connus la durée des plans et les moyens nécessaires à leur réalisation (avion/hélicoptère/transport d'un point de prise de vue au sol à un autre par hélicoptère/plans au sol avec transport par camion/laboratoire/microscope/banc-titre) ainsi que la durée des prises de vues non modifiées, des prises de vues réelles complétées par des animations, et des animations pures, par rapport à la durée totale du film. La quantité des animations est déterminée par le budget disponible. Celles-ci sont réparties régulièrement tout au long du film pour soutenir le développement de l'idée directrice. Les mots clés du commentaire sont portés dans la colonne texte. Les plans en cinémacrographie et cinémicrographie sont mis en évidence, car ce sont eux qui posent avec le plus

d'acuité le problème du changement d'échelle de plan à plan, problème à surveiller particulièrement dans les films de Géologie Régionale. Très souvent une séquence débute par un plan d'ensemble dont la base atteint plusieurs kilomètres et doit se terminer sur un plan de cinémicrographie : le changement d'échelle doit être graduel ou rapide et soutenu par le contexte.

7. DISCUSSION DU DÉCOURAGE : Le conseiller scientifique et le réalisateur discutent du découpage. Son remaniement est envisagé chaque fois que le réalisateur a déformé la pensée du conseiller scientifique. La position de séquences complètes est remise en cause, en particulier en fonction de l'emplacement des animations qui doivent être répartiées régulièrement tout au long du film (elles ne doivent être accumulées ni au début ni à la fin). Les plans au banc-titre (caméra d'animation à axe optique vertical) sont mis en évidence par coloration en marge du découpage, ce qui permet d'en repérer rapidement la position. "L'image aérienne" est spécialement signalée. Il s'agit d'une technique d'animation très moderne, qui est à la base de la conception de l'animation scientifique au Centre Audio-Visuel. Au cours d'un plan sur une image réelle immobilisée du sujet, est construit peu à peu le schéma en couleurs correspondant, puis l'image est effacée et le schéma apparaît sur un fond gris ou noir ; l'image revient ensuite en surimpression sur le schéma, puis celui-ci disparaît et l'image s'anime à nouveau. Cette méthode permet de faire analyser aux étudiants a posteriori les éléments d'une image qu'ils ne pouvaient appréhender a priori. L'ensemble de cette discussion de détail demande environ un jour.

8. ÉVENTUELLEMENT NOUVEAU DÉCOURAGE : Si, au cours de la discussion, un ou plusieurs éléments n'apparaissent pas clairement au réalisateur, une reconnaissance de détail est effectuée.

9. ÉTABLISSEMENT DE NOUVEUX DÉCOURAGES, JUSQU'A L'ORIENTATION DU DÉCOURAGE DÉFINITIF : Après ce travail, le réalisateur écrit un nouveau découpage il le discute ensuite avec le conseiller scientifique. Après amélioration, il le réécrit une troisième fois. En règle générale cette version est définitive : le rapport animations/vues réelles, le budget, la durée du tournage, les éléments du commentaire sont prévus. A partir de ce stade,

les plans qui seront ajoutés sont très rares et ne seront en général dus qu'à des impossibilités de réalisation suivant la forme prévue. C'est le cas de certains des plans qui seront tournés en hélicoptère ou au sol et qui n'ont été "vus" que de loin (le plan sera alors dédoublé, parfois détriplé).

10. ETABLISSEMENT DU TEXTE PREVISIONNEL : Cette étape est très difficile et souvent impossible à obtenir de la part du conseiller scientifique, heureusement elle n'est pas absolument indispensable. Néanmoins, elle est très très utile et souhaitable, car le conseiller scientifique, habitué à écrire pour les revues, écrit toujours pour le film un premier texte trop long, comportant de nombreux renvois comme une note. Il lui est très difficile de respecter le canevas de durée des plans. Le vocabulaire spécifique du niveau est intégralement conservé. Dès ce stade, les commentaires des schémas, qui conditionnent leur longueur, sont ramenés à un volume compatible avec les images réelles qui les entourent. Parfois le dédoublement d'un plan réel ou le renforcement d'un schéma par un plan apparaissent nécessaires à ce stade, un plan unique ne pouvant qu'exceptionnellement durer plus de 60 secondes. Au-delà de cette durée le plan paraît "s'éterniser" et provoque une rupture d'attention chez le spectateur. Le film est alors intégralement conçu. Peu de corrections pourront être ultérieurement effectuées, le réalisateur a engoncé la forme du film.

11. PREPARATION OFFICIELLE DES TOURNAGES : Les bons de commande sont émis et les ordres de missions demandés. Dans le cas où l'hélicoptère utilisé est fourni par l'armée, l'établissement du contrat et de l'assurance posent souvent des problèmes dus aux structures administratives. La location du support anti-vibratoire est prévue au plus juste, pour une période déterminée, en raison du coût élevé de ce système (son emploi est néanmoins indispensable, car il absorbe les vibrations et le mouvement de rotation de l'hélicoptère - réaction de la carlingue à la variation cyclique du pas des pales - et permet le montage de la caméra en équilibre indifférent, ce qui autorise sa mobilité autour des 3 axes principaux de liberté - site, azimut, et inclinaison latérale). Les autorisations de survol à basse altitude sont délivrées par les préfetures pour un jour et un trajet déterminés. Cette procédure est très contraignante, le

mauvais temps obligeant fréquemment à reporter les tournages. Pour les tournages à l'étranger, Ministère des Affaires Etrangères et Douanes sont impliqués. L'ensemble de la préparation administrative du tournage s'étend sur 2 à 3 mois, ou plus.

12. TOURNAGE :

12.1/ Reconnaissance détaillée - Conseiller scientifique/Réalisateur/Pilote : Les plans qui n'ont été "vus" que de loin lors de la reconnaissance en avion, sont reconnus en hélicoptère. Le professeur guide alors les vols, en se repérant grâce aux nombreux détails de terrain qu'il a appris à connaître lors de ses travaux. Pour des raisons financières, seule l'utilisation des hélicoptères Alouette II peut être envisagée. En montagne, la charge que cet hélicoptère peut transporter tout en pouvant redécoller à 3000 mètres d'altitude, à 0°, est d'environ 400 kg, soit 210 kg pour le personnel (pilote, conseiller scientifique et réalisateur), et 190 kg pour le kérosène. Ce carburant assure une autonomie décente d'environ 1 heure 1/4, l'absence de porte imposée par la prise de vue limitant la vitesse à 115 km/h. L'opérateur, la caméra et le support antivibratoire ne peuvent être embarqués.

Les axes de vol ainsi que les heures de tournage sont repérés. Des clichés Polaroid sont effectués.

Souvent l'hélicoptère sera utilisé lors du tournage pour le transport de l'opérateur, du réalisateur et de la caméra sur des points situés hors de toute route. Lors de la reconnaissance de ces points, des repères sont pointés sur les rochers avoisinants. Les conditions spéciales de tournage (réflecteur pour diminuer l'importance des ombres, praticables pour surélever la caméra, etc ...) sont notées. Cette reconnaissance demande 10 à 20 heures de vol réparties en 2 à 4 jours.

12.2/ Etablissement des documents de tournage : Le film étant entièrement reconnu, des modifications de détail sont parfois apportées au découpage. Dès ce moment, conseiller scientifique ou réalisateur ne pourront plus lors du tournage, ce qui est fréquent, improviser et souhaiter l'incorporation au film d'un plan supplémentaire qui leur paraîtrait extraordinaire (ce qui désorganiserait le découpage), car le film est conçu dans le

détail (enchaînement des échelles des plans, répartition de l'animation ...). Exceptionnellement, si le plan est réellement très intéressant scientifiquement, il sera tourné, et remplacera ou complètera un plan prévu, la forme du film n'est quand même pas immuable. Ce décourage doit être connu par cœur par le réalisateur, qui l'emportera pendant les vols, mais n'aura guère le temps de le consulter. Les plans sont répartis en fonction de la technique sur une fiche : en 3 colonnes verticales est établie la répartition avion/hélicoptère/transport au sol par hélicoptère ; les plans sont ensuite disposés sur les lignes par ordre géographique, et assortis des indications des heures de prises de vues estimées. Cette liste, toujours à portée du réalisateur, est le guide du tournage. En fonction du vent local, des ombres de nuages, des pannes, des incidents de caméras, ... le réalisateur devra à tout moment pouvoir modifier immédiatement son plan de travail, afin d'utiliser au mieux les heures de vol.

La localisation des plans est portée sur une carte au 1/200.000 qui sert aux vols de liaison, et sur des cartes au 1/100.000 ou 1/50.000 qui servent au tournage proprement dit. Un code coloré est utilisé pour différencier les plans à tourner en avion, en hélicoptère, au sol avec transport par hélicoptère et au sol avec transport par camion. Pour pouvoir retrouver plus aisément certains plans, le réalisateur emporte en outre les cartes géologiques. Les cartes synthétiques d'excursion pédestre, lorsqu'elles existent pour la région, sont très utiles lors des vols de liaison. Cet arsenal de cartes est nécessaire, car, lors des tournages, le conseiller scientifique ne peut être embarqué, c'est le réalisateur qui doit assurer la navigation.

Sur des cornets, en ordre numérique, chaque plan est schématisé sur la page de droite tel qu'il doit être tourné (en quatre images pour les panoramiques) et accompagné de son numéro, de son nom d'identification et de l'heure de tournage. Sur la page de gauche, est collé un tirage ou la photographie Polaroid de reconnaissance.

12.3/ Préparation de l'hélicoptère : Lorsque la reconnaissance est terminée, l'hélicoptère est préparé pour le tournage. Le siège gauche du co-pilote est retiré et remplacé par le support anti-vibratoire de la caméra, au centre duquel prendra place l'opérateur. Le montage,

L'équilibrage et l'essai dynamique en vol de la caméra demandent environ une demi-journée. Un siège est installé à droite à l'arrière pour le réalisateur, à la place de la banquette. L'hélicoptère est alors lourdement chargé : pilote/opérateur/réalisateur/support antivibratoire/caméra et accessoires, représentent environ 270 kg (130 kg seulement de kérosène peuvent être embarqués, correspondant à peine à plus de 3/4 d'heure d'autonomie, soit environ 80 km). Souvent le conseiller scientifique, qui ne peut plus être embarqué, rentre à son laboratoire.

12.4/ Implantation des dépôts de kérosène : Le kérosène que consomme l'hélicoptère est un carburant dont les dépôts sont rares. L'autonomie de l'hélicoptère étant réduite à moins d'une heure, des dépôts de kérosène sont implantés sur l'aire de travail (l'hélicoptère ne revient ainsi à la base que le soir). Ces dépôts, en général au nombre de 3 ou 4, sont implantés de façon permanente pendant le tournage souvent dès les reconnaissances ou sont implantés pour la journée (le canon de tournage allant prendre place à un endroit repéré au sol au préalable ou parfois seulement sur la carte). L'hélicoptère transporte la pompe de transvasement pourvue de son filtre (les gouttelettes d'eau en suspension dans le kérosène pouvant provoquer l'extinction de la turbine si elles sont d'un diamètre supérieur à 5 microns, la détection de l'eau par une pâte au cobalt, sa filtration et l'abandon des fonds de fût sont des mesures nécessaires). Sur les nouvelles Alouettes II, l'utilisation d'une turbine Astazou, plus économique, a accru l'autonomie d'environ 1/3, ce qui est très appréciable.

12.5/ Pellicule utilisée : Le format 35 mm est utilisé, afin d'obtenir une définition suffisante des vues isolées pour l'exécution des schémas en "image aérienne" suivant le processus décrit à la fin du paragraphe 7. Le système Eastmancolor utilisé est un procédé négatif/ positif très souple. La latitude d'exposition du négatif au tournage est grande et, par l'usage de filtres colorés, lors du tirage de la copie positive, la balance des couleurs peut être modifiée dans une large proportion (et se rapprocher ainsi au mieux de la couleur du sujet).

12.6/ Tournage par le réalisateur et l'opérateur : L'opérateur a déjà repéré les plans en avion et pris connaissance des carnets descriptifs des plans. Le réalisateur guide l'hélicoptère vers le lieu de tournage.

et définit à l'opérateur le plan par ses caractéristiques cinématographiques et par son "aspect" géologique. Arrivé sur les lieux, il indique au pilote l'axe et la configuration du vol à effectuer, la distance et la vitesse adéquates : entre 115 et 5 km/h et à plus de 10 m latéralement du sujet (très souvent un faible mouvement ascendant est conservé pendant le tournage pour assurer une meilleure assiette à l'hélicoptère). Si le vent ne permet pas l'évolution prévue (l'orientation du vent au sol est fréquemment mise en évidence par une grenade fumigène), un compromis est arrêté. Le plan est répété, puis tourné. Un plan de sécurité est toujours effectué. Lorsque des vents rabattants compliquent les évolutions, le nombre de passages pour trouver le chenal adéquat pour le tournage peut dépasser 15. Très souvent une configuration spécifique et originale de vol en forme de M est adoptée : le virage en début de plan permet d'obtenir une image, d'abord immobile dans le cadre, dont la vitesse de déplacement accélère ensuite régulièrement ; le très long virage de sens inverse qui suit (qui se rapproche d'une ligne droite) assure le panoramique ou le défilé pendant la prise de vue ; le virage contraire final permet de ramener le sujet à l'immobilité. L'opérateur, par l'orientation de la caméra, parfait le résultat. Ces variations régulières de vitesse de défilé des plans permettent d'effectuer lors du montage les raccords lorsque des vitesse homologues sont obtenues sur les plans adjacents. Les raccords successifs entre plans effectués en avion, en hélicoptère, au sol en panoramique, doivent passer inaperçus. Lorsqu'un plan est particulièrement délicat à réaliser, un ou plusieurs clichés Polaroid sont effectués et discutés avec l'opérateur et le pilote avant tournage (microphones et écouteurs sont évidemment nécessaires, et privent le pilote de radio pendant les temps de tournage). Depuis l'introduction de ce processus, le nombre d'heures de vol a pu être considérablement réduit. Dès que le plan est tourné, en 1 ou 2 nouveaux passages, le réalisateur prend les diapositives du sujet correspondant au plan (cf. paragraphe 54 "Documents d'accompagnement").

Lorsque la localisation d'un plan se révèle difficile, le réalisateur utilise les diapositives des reconnaissances qu'il observe dans une visionneuse. Les plans en avion sont effectués suivant le même processus. Le tournage d'un film demande de 15 à 50 heures d'hélicoptère et environ 10 heures à 20 heures d'avion réparties sur 15 jours.

Lors du tournage des plans au sol avec transport par hélicoptère, le sujet est indiqué au pilote qui choisit lui-même les conditions et la zone d'atterrissage (le réalisateur s'assure seulement que, dans la zone choisie, l'hélicoptère ne gênera pas la prise de vue).

Lors d'un tournage en laboratoire, chaque plan est repéré en début par enregistrement d'un clap (ardoise portant le numéro du plan et les indications de tournage). En fin de plan, une charte est introduite dans la scène, elle facilite l'étalonnage de la copie positive de contrôle ou rushes (cf. étape 15). Lors des tournages aériens, on ne peut enregistrer ni clap, ni charte. Le réalisateur lance le plan par l'ordre "moteur", dirige ensuite les évolutions de l'hélicoptère jusqu'à "coupez". Pendant le tournage du plan il regarde le paysage par dessus la tête de l'opérateur tout en projetant mentalement le cadre de l'image dessus. L'opérateur, à la fin du plan, indique au réalisateur la qualité technique de celui-ci. Le plan est retourné au moins une fois pour sécurité. Opérateur et réalisateur doivent posséder une grande habitude du travail en commun.

12.7/ Rapport de tournage : Dès que possible, la pellicule est envoyée, par train, en expresse, au laboratoire de traitement. La pellicule négative 35 mm Eastmancolor est développée pendant la première nuit qui suit son arrivée au laboratoire (le 16 mm, qui est développé moins rapidement, est peu utilisable pour ce genre de tournage). Le lendemain matin par téléphone, l'opérateur s'assure que la pellicule n'a pas été voilée, qu'elle est correctement exposée et qu'elle n'est pas rayée. Souvent, le décollage ayant lieu vers 7 h 30, ces informations sont recueillies vers 9 h par une tierce personne à l'aérodrome, et envoyées par radio à l'opérateur et au réalisateur.

12.8/ Eventuellement plusieurs semaines de tournage sont nécessaires : Le mauvais temps est souvent un fléau. Lorsque le tournage s'éternise et qu'il ne reste plus que quelques plans qui n'ont pu être tournés (3 à 6 sur 100), le tournage est arrêté.

13. Pendant les tournages, enregistrement de sons synchrones et de sons "off" : Des sons synchrones sont parfois utilisés dans les films de laboratoire, mais la grande complexité de l'opération fait écarter le plus possible cette solution. En Géologie, ce sont des sons "off" (non synchrones), de l'hélicoptère, des pales, de l'avion, du vent, des torrents ... qui sont préférés. Pour ces films, en général un jour de pris de son est suffisant. Parfois même on ne procède pas à des prises de son : des sons d'archives sont utilisés.

14. Visionnement des "rushes" ou copie de travail : Tout le négatif est tiré en positif couleur à étalonnage constant, sous forme de "rushes" ou copie de travail, car les plans aériens n'ont pu être clapés (pour les plans au sol clapés, seules les prises jugées bonnes sur le rapport de tournage sont tirées). En fin de mission, l'opérateur et le réalisateur, et eux seuls, visionnent les bobines de rushes. Il s'agit d'une projection démoralisante : les démarrages de caméra, les plans interrompus après trou d'air ... ne donnent, même à ces personnes habituées, qu'une piètre idée de ce que sera le film.

15. Retirage éventuel de quelques plans pour vérification des couleurs : Lorsque la couleur du plan s'éloigne trop fortement de la couleur du sujet, le réalisateur donne des indications d'étalonnage. Lorsque l'étalonneur a tiré les rushes, le négatif ne comportant pas de charte colorée, il s'est basé seulement sur la couleur du ciel, de l'herbe et sur la teinte générale du sol. Une bauxite rouge, couleur rare pour le sol, le trompe, il a tendance à ramener sa teinte vers le marron. Le nouveau tirage étalonné indique si le plan est correct. Il faut remarquer que la couleur pourpre du Permien, mal interprétée par les émulsions trichrome est toujours mal rendue, et qu'un compromis entre sa couleur et celles de l'herbe et du ciel doit être recherché.

16. Montage du film en bout à bout : Pour chaque bobine de rushes, le réalisateur signale sur le film, par des marques conventionnelles, les chutes à jeter, et repère les plans par leur numéro. Ce numéro est assorti d'un deuxième chiffre qui indique le numéro de la prise, et de la mention

"double" lorsque le réalisateur estime la prise de qualité moyenne. Le monteur (ou le réalisateur) relève la liste des plans de chaque bobine. Si plus tard un double de plan est recherché, la liste indiquera s'il existe. Le film est alors monté en bout à bout : tous les plans sont placés dans l'ordre numérique indiqué par le réalisateur et sont conservés dans leur intégrité. Les doubles sont archivés. Le réalisateur visionne le bout à bout et fait enlever par le monteur les doubles de plans qui apparaissent alors sans intérêt. Ces prises sont archivées. Seul environ un plan sur trois est conservé avec son ou ses doubles. Partout où des plans de paysage manquent, et aux endroits où des plans de laboratoire ou d'animation viendront s'insérer, des blancs de 10 à 20 secondes (portion d'amorce blanche opaque) sont placés entre les images. Le film prend forme. Ce travail demande environ 2 à 4 jours.

17. Visionnement avec le conseiller scientifique et le monteur : Conseiller scientifique, réalisateur et monteur visionnent le film en projection, puis à la table de montage à fin de discussions. Parfois, un plan ou une séquence de plans sont déplacés par rapport au découpage pour améliorer la progression visuelle. La prise jugée la meilleure pour chaque plan est seule conservée (les autres prises sont archivées). Toutes les archives constituent une sécurité pour le cas, rare en 35 mm, où l'original d'un ^{plan} serait abîmé au laboratoire et ne pourrait plus être utilisé.

18. Eventuellement retournage : Si le réalisateur a trahi l'idée du conseiller scientifique, ou que l'absence d'un des plans non tournés ne puisse être tolérée, ou qu'un plan aérien soit trop "vibré", un tournage complémentaire est décidé.

19. Tournage des plans de laboratoire : En quelques jours, les plans de laboratoire (expériences), de cinémicrographie (échantillons) et de cinémicrographie (lames minces) sont effectués, et les tirages inclus dans le bout à bout.

20. Elaboration des schémas : Conseiller scientifique/Réalisateur/Animateur. Deux types de schémas sont élaborés : d'une part, les schémas simples sur fond uni gris ou noir, d'autre part les schémas en "image aérienne" sur fond d'image réelle, pour lesquels les plans ont été tournés en conséquence.

La position des schémas est prévue depuis le découpage, de même que leur durée approximative, ainsi que les phases de leur mise en place et que le commentaire qui les accompagne. Au niveau de cette discussion, ce sont ces éléments qui sont précisés et les maquettes des dessins à main levée qui sont effectuées. Les schémas définitifs seront pour la véracité effectués d'après les vues réelles et non d'après des schémas existants. Les images d'un plan qui doivent être immobilisées pour - "l'image aérienne" sont choisies à la table de montage en fonction de leur netteté propre et de la stabilité dynamique des images voisines (elles ne doivent pas être choisies entre des "sauts" du plan afin que l'arrêt n'apparaisse pas brutal, d'où l'importance du support anti-vibratoire).

Dans l'animation en "image aérienne", le point de départ est un plan normal tiré en positif, dont on rephotographie en synchronisme la projection aérienne de chaque image, à l'aide d'un banc titre spécial. Lorsque l'on arrive à l'image repérée, le plan original est immobilisé, et l'on rephotographie à loisir l'image choisie (pour que la définition d'un paysage reste correcte, l'emploi du format 35 mm est obligatoire). Des dessins sur "cellulo" (abréviation de celluloïd, matière anciennement utilisée) éclairés par dessus, disposés dans le plan de la projection aérienne, peuvent soit être surimpressionnés et se substituer plus ou moins à une partie de cette image, soit la masquer. L'image projetée, aérienne, éclairée par transparence, est concentrée vers l'objectif de la caméra par une lentille de Fresnel située dans le plan de travail. Les dessins placés dans ce plan sont éclairés par réflexion. La compatibilité entre les deux systèmes d'éclairage est totale. Cette technique est très délicate à mettre en oeuvre : une définition, un équilibre chromatique, un équilibre d'exposition, une régularité d'éclairement parfaite et un contraste correct sont difficiles à obtenir simultanément.

A partir des images du film qui doivent être immobilisées en "image aérienne", le photographe tire une épreuve en noir et blanc sur papier-mat. Même si le texte du film n'a pas été écrit au préalable, le conseiller scientifique est de toute façon tenu, à ce stade, d'écrire le commentaire définitif des schémas. En effet, du temps de lecture de ces commentaires, décourent le déroulement et la durée des schémas qui sont tournés en conséquence.

21. Exécution des "masters" : Les négatifs 35 mm originaux des plans n'étant jamais utilisés pour les animations pour éviter leur détérioration par manipulations, des "masters" sont commandés (positifs de très haute qualité, à faible contraste, destinés à la copie).

22. Exécution des schémas sous le contrôle permanent du réalisateur (cartes, schémas, image virtuelle) :

22.1/ Mise en couleur des tirages : Le professeur reporte sur les tirages photographiques noir et blanc les éléments du schéma. La photographie ainsi complétée présente l'aspect qu'aura le schéma exécuté en "image aérienne".

22.2/ Contrôle du travail d'animation : Le réalisateur reste en relation constante avec l'animateur, et prend toutes les décisions de travail nécessaires. Si le problème présente une certaine importance, il en réfère au conseiller scientifique.

23. Exécution sur diapositives des plans manquants : Souvent les plans qui n'ont pu être tournés ont été photographiés lors des reconnaissances. Ces clichés, lorsqu'ils sont cinématographiés, laissent croire à la projection que le plan a été tourné. Pour une personne habituée, la différence avec un plan réel est visible (absence de mouvements, de défauts dans l'image, défilement égal des éléments de l'image pendant un panoramique), elle est inapparente pour les spectateurs lorsqu'il s'agit de plans disséminés.

24. Choix de la musique : disque ou compositeur. La musique est choisie sur disque (système économique) ou composée (système plus onéreux, plus généralement réservé aux films de vulgarisation dans lesquels elle est largement utilisée. Elle n'est utilisée dans les films de synthèse que pour souligner les transitions entre les séquences principales du film ou pour laisser des moments de repos au spectateur, en dehors de son emploi pour les génériques. Pour les films de Géologie Régionale, la musique symphonique du 18ème siècle donne une touche constante à l'ensemble des films.

25. Exécution du générique : Les films scientifiques produits au Centre Audio-Visuel sont signés : soit par le conseiller scientifique et le réalisateur séparément, soit en commun lorsque le conseiller scientifique, au vu du travail effectué par le réalisateur, lui fait l'honneur d'une signature conjointe. Les éléments du générique sont tournés sur un fond d'images fixes (diapositives : système économique), ou sur image mobile ; mais leur apparition est toujours rythmée sur la musique.

26. Acceptation technique du travail d'animation : Le réalisateur, l'animateur et l'opérateur du banc-titre assistent seuls à la projection des rushes d'animation. Des défauts mineurs sont toujours présents, le réalisateur doit juger jusqu'à quel point ils sont acceptables ou inacceptables. Ce travail requiert de l'habitude et une expérience visuelle poussée : le défaut est souvent très éloigné angulairement du point fort de l'image. Au point de vue pédagogique, il serait souhaitable à ce niveau de disposer de crédits plus importants, afin de pouvoir faire exécuter des versions modifiées des animations qui laissent à désirer à la première version. La pédagogie est obligée de céder le pas au prix de revient. L'ensemble du travail d'animation s'étend sur une période variant de 1 mois à 1 an, il est souvent tributaire des libertés du conseiller scientifique.

27. Prémontage : L'ensemble du film étant tourné, les plans sont prémontés c'est-à-dire qu'ils sont raccourcis et raccordés largement (les raccords seront soignés lors du montage). Les chutes sont archivées : elles permettront au besoin de rallonger des plans.

28. Projection au conseiller scientifique : Le film est alors projeté devant le conseiller scientifique, le réalisateur, l'animateur et le monteur. Les retouches nécessaires sont discutées en commun. Lorsque le commentaire du film a été écrit au préalable, il est lu par le réalisateur ou le conseiller scientifique en synchronisme avec les images : les coupes de texte nécessaires apparaissent.

29. Eventuellement : retournage de plans, d'animations, ou réalisation d'un complément d'animation, ou suppression d'une séquence. Le film ayant été jugé dans son intégrité, ces différents types de retouches peuvent être envisagés dans la mesure du budget disponible, lorsque l'unité pédagogique et l'unité visuelle du document ne s'harmonisent pas de prime abord.

30. Montage : Le film est alors monté en 3 ou 4 jours. Le réalisateur et le monteur qui travaillent en collaboration étroite lui donnent son rythme propre. Les chutes sont archivées.

31. Le texte est modifié (parfois écrit) par le conseiller scientifique sur le canevas de durée : Le monteur prépare sur une fiche la liste des plans dans leur ordre de montage. Il les assortit de leur durée, ainsi que du moment d'apparition des points forts que le réalisateur lui aura signalés. Le professeur adapte son texte en conséquence. Lorsque le commentaire n'est écrit qu'à ce stade, les raccords du texte avec les phrases des schémas peuvent poser des problèmes.

32. Le texte est adapté par le réalisateur : Le texte élaboré jusqu'à ce stade a souvent une forme écrite. Le réalisateur lui donne une forme filmique parlée, et l'adapte à la visualisation. Cette étape est très importante, le film doit "couler". Les retouches, bien que souvent mineures, sont toujours difficiles à faire accepter au conseiller scientifique qui n'a pas l'habitude de voir ses écrits remaniés. Une collaboration suivie sur plusieurs films avec un même conseiller scientifique serait précieuse, mais elle est souvent irréalisable, car pour chaque sujet, c'est un spécialiste différent qui est impliqué.

33. Enregistrement du commentaire : Si les essais de voix du conseiller scientifique sont satisfaisants jusqu'à l'essai en copie optique, c'est lui qui enregistre le commentaire. Connaissant parfaitement les images et le sujet, il enregistre en se repérant par rapport à la projection du film. L'enregistrement est moins synchrone qu'avec un speaker, mais seul le professeur peut faire vivre son commentaire dans le détail.

Un speaker se repère grâce à la projection de la bande rythme : projection synchrone des valeurs en secondes de la durée du film depuis le début de la bobine. Cette bande est projetée sous l'image du film que le speaker ne regarde pas. Avant l'enregistrement, le réalisateur ou le conseiller scientifique répète le texte par rapport aux images, le speaker note la seconde ou la demi-seconde correspondant au début des phrases et reproduit ce débit lors de l'enregistrement. Le film est enregistré par bobine de 10 minutes. A chaque erreur, la projection est ramenée en arrière, en amont du premier silence qui précède l'erreur, et l'enregistrement est repris au passage du silence. Le réalisateur contrôle le texte enregistré par lecture simultanée du texte tapé, ainsi que la position des phrases par rapport à l'image. Aucune erreur, aucune hésitation ne doivent être tolérées.

Il serait souhaitable d'enregistrer le texte dès la conception de l'animation (étape 20), afin que les schémas soient tournés en synchronisme sur le commentaire définitif enregistré, mais cela est rarement possible.

34. Montage magnétique des phrases : Surtout lorsque le commentaire a été enregistré par le conseiller scientifique, les phrases doivent être recafé à la place exacte qu'elles doivent occuper par rapport aux images. Les silences de la bande magnétique sont raccourcis ou allongés sur une table de montage assurant le défilement synchrone de la bande image et de la bande magnétique du commentaire.

Parfois à ce stade, le film est projeté devant les membres d'un comité pour acceptation, à l'aide d'un projecteur spécial "double bande" assurant le défilement synchrone de la bande image et de la bande commentaire, qui sont indépendantes.

35. Copie du disque (ou enregistrement musical) : A partir du disque, la musique est reportée sur bande magnétique. Si elle a été composée, l'enregistrement a lieu en auditorium pendant la projection du film afin d'obtenir un parfait synchronisme. Si une partie du film a été effectuée en son synchrone ou "off", ces sons, enregistrés sur bande lisse 6,35 mm, sont reportés sur une bande magnétique perforée du même format que le film, ce qui simplifie les manipulations.

36. Montage des bandes son : musique, bruitage. Sur une première bande son les passages musicaux retenus sont montés en synchronisme avec les images, et séparés par de l'amorce blanche (jouant le rôle de silence). La bande bruitage et éventuellement une bande de sons synchrones sont montées de la même façon. Ce travail demande 4 à 20 jours, suivant le nombre d'éléments sonores utilisés. C'est le réalisateur qui a établi la répartition des sons tout au long du film dès le découpage (cf. paragraphe 24 "Choix de la musique").

37. Répétition de mixage : Les 3 ou 4 bandes "son" montées séparément par rapport à l'image sont écoutées en synchronisme avec elle. Réalisateur et monteur assistent à la projection et surveillent les raccords. Ils notent ceux qui doivent être retouchés.

38. Mixage définitif de la version française : Lorsque les bobines ont été modifiées, elles sont à nouveau chargées en auditorium. L'ingénieur du son répète le mixage de la bobine 1 en suivant les tableaux synoptiques établis par le réalisateur et le monteur. Lorsque le réalisateur est d'accord sur toutes les modifications de volume aux raccords et aux superpositions des sons, la bobine 1 est enregistrée : commentaire et sons sont mixés.

38 bis. Mixage des films simples : Pour les films courts, comportant seulement une bande musicale, à partir de l'étape 33, dès que la bande musicale est montée, enregistrement du commentaire et mixage sont effectués en une seule séance d'auditorium.

39. Mixage "version inter" : Dès que le mixage d'une bobine est effectué, il est réenregistré sans la bande speaker. On obtient une bande sonore complète mixée, moins le commentaire. Pour réaliser les versions du film en langues étrangères, il suffira de mixer la bande speaker sur cette bande dénommée "version inter" (abréviation de "Bande pour sonorisation des versions internationales"). Des copies de sécurité de ces éléments sont aussitôt effectuées.

40. Copie optique du son : La bande magnétique mixée est recopiée sur pellicule négative pour son optique. Celle-ci est envoyée au laboratoire pour traitement.

41. Commande de la copie standard n° 0 du film : Le laboratoire monte le négatif original d'après la copie de travail qui a été utilisée depuis l'étape 14 (Visionnement des rushes).

42. Indications d'étalonnage au tireur : Les plans aériens ne comportant pas de charte colorée (cf. états 15 et 12.6, "Étalonnage"), des indications verbales sont données plan à plan par le réalisateur à l'étalonneur.

43. Etablissement des bandes courtes ou "chenilles", et essais d'étalonnage : Lors du montage du négatif, le monteur réalise, parallèlement au montage des bobines du film, le montage, pour chaque bobine, d'une bande qui comporte seulement deux images négatives prises au début de chaque plan. Il réalise ainsi un film "résumé" (= bande courte ou "chenille"). L'étalonnage prévu est essayé sur ces images ; un positif en est tiré. En 2 ou 3 essais rectifiés, le compromis adéquat est atteint.

44. Tirage de la copie n° 0. Projection. Discussion de l'étalonnage : À partir du négatif monté, l'image positive de la copie est tirée suivant l'étalonnage établi, et le négatif son est copié en marge (dans la piste sonore). Ce positif complet est développé. Il constitue la copie d'essai "zéro" qui n'est pas exploitée en distribution et qui sert seulement aux retouches finales d'étalonnage. Le réalisateur doit connaître parfaitement son rôle

pour déceler les défauts et savoir jusqu'à quel point il peut en exiger les corrections.

Remarque : de l'étape 15 (suivant le visionnement des rushes) à l'étape 49 (établissement des copies de séries), le réalisateur peut déléguer une partie de ses pouvoirs à un assistant expérimenté, restant en constante relation avec lui.

45. Commande de la copie n° 1, première des copies de série : Les films pédagogiques étant peu exploités en 35 mm, on se contente parfois de la copie n° 0, pour ces rares projections (l'emploi du 35 mm étant justifié par l'animation en "tirage aérienne"). Si une copie 1 corrigée est tirée, son étalonnage est discuté et un tirage de série pourrait être lancé.

46. Tirage des copies 16 mm par réduction : copie n° 0. Le Centre Audio-Visuel n'assurant pas le tirage des copies de série d'exploitation en 16 mm (seul format répandu dans les facultés), une autorisation de tirage est envoyée à l'organisme distributeur, le Service du Film de Recherche Scientifique. Ce service charge le réalisateur de suivre l'étalonnage 16 mm de son film. Avant l'établissement des éléments de tirage 16 mm, opération qui présente quelques dangers pour le négatif original, un master de sécurité en 35 mm est effectué (copie négative à contraste doux de très haute qualité). Pendant cette attente, la copie n° 0 ou 1 en 35 mm, est visionnée et commentée par le réalisateur à l'étalonneur 16, afin d'atteindre rapidement le meilleur résultat possible. Celui-ci procède alors à l'étalonnage de la copie 16 mm n° 0 et la fait tirer.

47. Projection de la copie 16 mm n° 0. Discussion de l'étalonnage : Très généralement, la copie n° 0 est bonne et seules des retouches de détail sont à apporter.

48. Copie 16 mm n° 1 : première copie de série : Parfois, il faut aller jusqu'à la copie n° 2 ou n° 3 pour obtenir un étalonnage optimum.

49. Copies de série en langue française et distribution : Le Service du Film de Recherche Scientifique fait alors procéder au tirage d'une première série de copies, d'environ 2 à 30, suivant les films. Des séries de copies seront ensuite tirées en fonction des locations. Certains films, tels "La Structure de la Cellule" "Du Pelvoux au Viso", ont dépassé ou vont atteindre 200 copies. Au fur et à mesure des besoins, les éléments de tirage sont renouvelés.

50. Statistiques de prêt. Ventes de copies : En moins de 8 jours, le professeur reçoit, en provenance du Service du Film de Recherche Scientifique, le film demandé accompagné d'une lettre personnelle. S'il désire conserver une copie en permanence, il peut l'acquérir pour le prix de tirage. Des statistiques de location sont établies deux fois par an. Elles renseignent le réalisateur sur la portée de ses productions et complètent les observations qu'il effectue au cours de projections publiques. Ces indications serviront à infléchir les découpages futurs vers les solutions jugées les meilleures.

51. Dépôt dans les Centres Culturels Français à l'Etranger : Ces centres assurent les locations hors des frontières. Lorsqu'un document est très demandé, le SERVICE du Film de Recherche Scientifique, après accord du Ministère des Affaires Etrangères, peut établir une version dans la langue correspondante.

52. Surveillance de l'établissement des copies en version étrangère : Le texte du film est traduit dans le pays demandeur par un spécialiste universitaire de la discipline. Le Service du Film de Recherche Scientifique charge le réalisateur de faire vérifier la traduction, puis de superviser l'enregistrement.

B. DOCUMENTS D'ACCOMPAGNEMENT

53. Leur forme est très variable : Lorsque le film est peu important, il se suffit à lui-même. Le commentaire multigraphié peut l'accompagner, avec ou sans référence aux plans. Les films de Géologie Régionale sont accompagnés par un document original très complet qui comprend un livret de commentaires et une série de diapositives.

54. Les diapositives sont prises au cours des reconnaissances et des tournages : Des heures de vol sont ainsi économisées, de plus une partie des diapositives a pu être utilisée au cours de la réalisation du film, lorsque le besoin s'en est fait sentir (cf. étape 23, "Exécution des plans manquants").

55. Les schémas sont photographiés pendant leur tournage : Pour les schémas simples et les cartes, il s'agit de photographies classiques. Pour "l'image aérienne", la caméra du banc-titre est chargée en Kodachrome II, et le schéma est photographié dans les conditions où il a été cinématographié. Ces prises de vues sont effectuées en cours de tournage, car souvent la gouache utilisée pour dessiner les schémas sur "cellulos" se craquelle en quelques semaines, et l'usage du document devient impossible.

56. Etablissement de la série time théorique de diapositives : A partir des clichés réels et des schémas, le conseiller scientifique, assisté par le réalisateur, établit la série théorique de diapositives. Cette série doit à la fois recouper et déborder les éléments du film. Elle doit : soit servir à préparer ou conclure la projection, soit permettre d'élargir la discussion.

57. Eventuellement, missions photographiques : Cette solution est envisagée lorsqu'un certain nombre de clichés manquent, surtout lorsque ces clichés correspondent à des plans qui ont dû être abandonnés dans le film.

58. Certaines images sont extraites des négatifs restants : Souvent les photographies qui manquent sont extraites des chutes négatives d'un plan ou du négatif d'un double non utilisé.

59. Choix final des diapositives et composition de la série : L'ensemble des documents qui peuvent être utilisés étant rassemblé, la série définitive est constituée en fonction des clichés possédés. La présentation choisie impose un multiple de six (36 apparaît à l'usage un nombre de vues adéquat pour un film de Géologie).

60. Etablissement des textes : Ces textes seront publiés dans un livret. Le premier permet au conseiller scientifique du film d'expliquer les raisons l'ayant conduit aux simplifications, omissions ou affirmations sans réserves imposées par la forme filmographique dont le débit très rapide exclut l'équivoque. A ce texte de base, font suite des compléments scientifiques, des schémas, une bibliographie et des cartes, qui font de cette première partie une note scientifique de synthèse sur le sujet. Vient ensuite le texte du film, avec rappel des images et des diapositives correspondantes. Le texte étant divisé en plans comme le film, l'accès à une phrase donnée est facilité : la préparation de la projection, surtout en ce qui concerne les détails, peut être effectuée sur livret. Enfin viennent les légendes des diapositives, accompagnées, lorsque le besoin s'en fait sentir, par des schémas explicatifs et des cartes de localisation. Le réalisateur coordonne l'ensemble de la préparation de ce travail.

61. Elaboration des schémas et cartes accompagnant le texte : A partir des documents fournis par le conseiller scientifique, le réalisateur fait exécuter schémas et cartes par un dessinateur.

62. Contrôle de l'étalonnage des premières copies de diapositives : En contrôlant des essais successifs, le réalisateur s'efforce d'obtenir des duplicatas les plus fidèles possibles.

63. Correction des textes typographiés : épreuves.

64. Correction des caches des diapositives : épreuves. De la même façon ces épreuves sont relues. Les caches comportent le numéro d'ordre de la diapositive, sa légende et le point d'orientation destiné à la projection.

65. Correction des schémas photographiés : épreuves. Ces corrections portent sur l'orientation des reproductions et sur la propreté du travail.

66. Acceptation de la maquette de série : L'éditeur des diapositives fait effectuer une maquette : du livret, de la série de diapositives et de son emballage. Les textes scientifiques sont imprimés sur feuilletés blancs, le texte du film sur feuilletés jaunes, et le texte des diapositives sur feuilletés bleus (solution rarement utilisée, très pratique et peu onéreuse). Les diapositives sont présentées à plat par planches de six. Ces planches sont encartées dans une reliure toilée, le livret de commentaires est glissé dans un gousset de la couverture. Après vérification, le "bon à tirer" est délivré.

67. Production de série : Une série de 500 documents est commandée.

68. Mise en distribution et vente : Ces documents sont vendus par le Service du Film de Recherche Scientifique aux membres de l'Enseignement, et par la maison d'édition aux acheteurs particuliers. L'ensemble du travail de réalisation d'une série de diapositives s'étend sur un an.

69. Séries complémentaires : Une expérience très intéressante dans le domaine des diapositives est tentée actuellement grâce à l'initiative de Monsieur le Professeur BROUSSE. En annexe à la série de diapositives "Le Volcanisme en France" destinée à l'Enseignement Supérieur, 6 séries régionales de 12 vues, et 1 série de 20 vues de photomicrographies de lames de roches volcaniques ont été éditées pour le grand public. Il s'agit donc d'une vulgarisation de première main, destinée aux amateurs. L'emploi de ces diapositives en tant que documents complémentaires de la série principale est indiqué par le rappel de leur numéro de référence dans le texte principal (et inversement).

L'ensemble de la réalisation d'un film de synthèse de Géologie Régionale et de la série de diapositives d'accompagnement s'étend sur une période de 2 à 6 ans. Pour les films de laboratoire moins importants, sans documents d'accompagnement, la durée de réalisation est ramenée entre 6 mois et 2 ans...

Le processus que nous venons de détailler est propre à la réalisation des documents du Groupe de Sciences Naturelles du Centre Audio-Visuel qui l'a lentement élaboré au cours des années. Il comporte un certain nombre de points originaux : relations conseiller scientifique/réalisateur, large emploi de l'animation et spécialement de "image aérienne", documents d'accompagnement, présence continuelle du réalisateur tout au long de la production. Il permet au réalisateur de s'exprimer totalement, tout en respectant les idées et la personnalité du conseiller scientifique. Souvent les collègues de celui-ci, à l'issue d'une projection, disent "c'est son film" ; c'est le plus beau remerciement que peut recevoir le réalisateur : ne pas avoir déformé la pensée du conseiller scientifique.

Ce processus, largement employé par notre équipe, généralisable à la plupart des disciplines, a donné la preuve de son efficacité et de son adaptabilité ; mais en raison de la sensibilité artistique mise en jeu, son application reste un fait personnel du réalisateur qui est le maillon clef indispensable entre le conseiller scientifique et l'équipe technique.

L'ensemble du processus évoqué dans cette note devrait permettre à un réalisateur débutant d'entreprendre d'emblée la production d'un film scientifique simple.

Quelques points doivent être soulignés.

Un réalisateur de formation scientifique est la seule solution envisageable, au niveau où les films sont traités. C'est grâce aux connaissances qu'il a acquises qu'il peut comprendre le sujet, l'appréhender et en aménager la visualisation, tout en respectant le contenu qui dépend presque exclusivement du conseiller scientifique. Il est apte à comprendre le vocabulaire spécifique du commentaire. Sa connaissance du milieu universitaire lui permet d'occuper sa position sans la dépasser. La formation d'un jeune réalisateur est devenue difficile, les rapports professeur/étudiant ayant beaucoup évolué en quelques années.

Le réalisateur doit savoir s'adapter sans récrimination aux contingences matérielles. Les tournages scientifiques sont effectués en équipe réduite. Dans un tournage spectacle, près de 40 personnes sont employées simultanément. Pour un film d'enseignement supérieur, l'équipe ne comprend au plus que 5 personnes pendant les tournages (le réalisateur, l'opérateur, le pilote, le chauffeur et le machiniste), et souvent seulement 4 (c'est alors le réalisateur qui effectue le travail du machiniste). L'équipe réduite ainsi constituée doit être bien soudée, solidaire. Peu onéreuse pendant les déplacements, elle est acceptée sans difficulté dans un laboratoire, et même en milieu hospitalier où elle n'occasionne que le minimum de dérangements.

Le réalisateur doit savoir sacrifier une belle image au profit d'une image plus explicite. Dans ces films, c'est le texte qui prime : il faut entendre par là que si, entre deux plans, le plus esthétique ne constitue pas la meilleure illustration du texte, il est écarté. Parfois des plans, peu tentants au point de vue cinématographique, sont tournés par besoin. L'image, néanmoins, est aussi soignée que possible, et nous nous sommes attaché au cours des films à en améliorer la facture générale, les étudiants étant de plus en plus sensibles à la qualité des images. Leurs réactions lors des projections sont notées et prises en considération pour l'établissement des

découpages suivants.

L'entente du réalisateur avec l'opérateur doit reposer sur une reconnaissance mutuelle des compétences techniques. Lorsque plusieurs possibilités se présentent pour le tournage d'un plan, le réalisateur choisit une des solutions et décharge l'opérateur de la responsabilité du choix. Il doit à tout moment vérifier le cadre, ainsi que l'ouverture utilisée. Un opérateur habitué au travail normal de studio emploie couramment $f/2,8$ comme valeur de diaphragme pour les prises de vues (cette pratique est justifiée dans les grands studios par l'échauffement réduit qui découle de l'emploi d'une quantité moindre de projecteurs). Pour les films scientifiques, il faut atteindre l'ouverture $f/5,6$ pour que la définition des images s'accorde avec la finesse habituelle des structures des sujets.

Lorsqu'une technique de prise de vue, même difficile, semble devoir apporter un bénéfice pédagogique, elle est toujours utilisée.

5.1.3/ PROBLEMES DE PRISE DE VUE ET D'ANIMATION DANS LES FILMS DE SYNTHESE :

Ces problèmes ont été évoqués dans la publication :

"Quelques essais pratiques de visualisation dans les films et les
émissions de télévision en Sciences Naturelles" n 199 à 206,

dans laquelle sont développées les spécificités du cadrage et de l'animation au niveau d'un film d'Enseignement Supérieur, c'est-à-dire de visualisation au sens large, problème très important et très complexe.

QUELQUES ESSAIS PRATIQUES DE VISUALISATION DANS LES FILMS ET LES ÉMISSIONS DE TÉLÉVISION EN SCIENCES NATURELLES *

G. BOUHOT

Centre Audio-Visuel, Ecole Normale Supérieure, Saint-Cloud.

Les multiples efforts déployés par les réalisateurs scientifiques pour accroître la qualité visuelle des images, font que le cinéma et la télévision, notamment en Sciences Naturelles, ont fait d'énormes progrès.

De nos jours l'image est utilisée à de multiples fins, et l'élève, dès son plus jeune âge, est soumis à sa présence constante. L'image a ainsi perdu beaucoup de sa puissance et est souvent réduite à un rôle utilitaire. Aussi, lorsqu'elle est employée à des fins esthétiques, elle est le plus souvent produite grâce à des techniques qui ont fait leurs preuves et qui sont maniées

en fonction de standards de haute qualité.

Le cinéaste scientifique est conduit lui aussi à réaliser des images de plus en plus élaborées. L'auditoire ne supporte plus que difficilement un film « de recherche » qui n'est pas mis en forme visuellement.

Non seulement le réalisateur est amené à élaborer ses images, mais il est en outre conduit à les soutenir, à les compléter, à les renforcer, par l'introduction de schémas purs ou de schémas appuyés sur des vues réelles.

Ce sont ces trois points qui sont développés dans le montage de plans extraits de films conçus par le Groupe de Sciences Naturelles du Centre Audio-Visuel de l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud, montage qui accompagne cette note (les chiffres indiqués dans le texte entre parenthèses renvoient à la filmographie).

* Note publiée dans les Actes du III^e Congrès de l'Union Européenne de Radiodiffusion, Paris, mars 1967, accompagnant le montage filmé projeté en séance.

Note republiée dans le rapport du Séminaire des Professeurs de Biologie utilisateurs de circuits de télévision intégrés, lycée de Sèvres, 10 et 11 mai 1967.

L'IMAGE

Pour provoquer un impact visuel, l'image doit être attrayante plastiquement et certaines séquences doivent se détacher des autres. Les moyens utilisés sont ceux du cinéma classique.

C'est dans ce domaine que la personnalité du réalisateur s'exprime le plus. Nous laisserons de côté nombre de points que l'on pourrait développer, comme la longueur respective des plans, l'enchaînement des tailles de plans, etc. Nous nous attacherons seulement à des exemples concrets.

Par la composition, l'œil peut être attiré automatiquement sur le point fort qui correspond à la partie scientifiquement constructive de l'image. Ainsi, dans un cadrage asymétrique, le premier plan à gauche de l'image attire l'attention sur un géomètre en train d'effectuer une mesure, alors que l'arrière-plan flou à droite, dont l'échelle est plus réduite, indique secondairement qu'il se sert d'un poste émetteur-récepteur de radiophonie (1). De même un cadrage en contre-plongée, avec mise au point sur le premier plan sur un caillbotis, soutient l'ambiance maritime, alors que l'arrière-plan, la tête de rotation, entretient la notion de forage (1). L'image fortement composée peut ainsi véhiculer conjointement deux idées d'importance pédagogique égale ou différente.

Les mouvements par travelling mécanique, travelling optique, déplacement du sujet, sont très utilisés.

D'autres types de mouvements comme la « Bateauvision » permettent une approche nouvelle. A bord d'un bateau océanographique, au premier plan, le hauban et l'étrave servent de points fixes, pendant que ce navire en rejoint un autre plus petit et qu'il l'évite par la droite. Le déplacement de l'image attire l'attention sur le petit bateau qui ne peut qu'avancer lentement au cours d'un dragage (2). Souvent les mouvements combinés des deux bateaux gênent le tournage de telles séquences.

Par « l'Hélivision », l'attention peut être centrée sur un objet : aven (3), lave prismée (4), forteresse (5)... Un mouvement régulier d'enroulement autour du sujet accroche l'auditoire sur le centre d'intérêt. La limitation de ce procédé est la difficulté d'obtenir un mouvement parfaitement régulier. Dans un mouvement d'enroulement, toute saute de l'image perturbe énormément la perception du spectateur.

Par travelling mécanique réalisé au banc-titre sur photographie, on peut passer de façon continue d'un plan large à un extrême détail. On attire peu à peu l'attention des spectateurs sur le centre d'intérêt. Ainsi dans la « Structure de la cellule » (11) on passe de façon continue d'une cellule animale au détail de sa membrane.

Des mouvements d'apparence complexe peuvent être obtenus par déplacement de l'objet et changement simultané du plan de mise au point. L'œil est ainsi rigoureusement guidé d'une partie à l'autre de l'image par un effet plastique (6).

La présentation simultanée sur l'écran de deux demi-images semblables oblige à une comparaison. Deux images microscopiques, obtenues par des méthodes différentes, entraînent immédiatement la conviction qu'une méthode conduit à des images de meilleure qualité, et l'on peut juger pourquoi (7). En télévision, le truqueur électronique permet d'effectuer très facilement des découpages d'images de ce type, la taille des éléments comparés pouvant être modifiée en cours de plan (31).

Un éclairage inhabituel : le passage de l'éclairage d'ambiance à l'éclairage d'une zone délimitée se détachant sur fond noir, définit un point de fixation. La laborantine installe une cuve derrière un spectroscopie; alors, seuls restent lumineux la fente du spectroscopie et son œil (8).

La silhouette noire d'un sujet se découpant sur fond clair attire l'attention sur son ensemble, sur sa conformation. Un microscope en silhouette sur fond bleu lumineux révèle mieux ses différentes parties constitutives qu'un fouillis de laiton, de chrome, de verre, de vernis noir (7).

En plus de ces procédés classiques d'élaboration de l'image, le scientifique a de la chance : il peut utiliser un ensemble de moyens qui ne trouvent que rarement leur utilisation dans les films commerciaux. Par ces moyens les images sont en général difficiles à obtenir, elles sont de ce fait attirantes par leur caractère insolite et possèdent une réelle valeur scientifique.

La cinémacrographie permet

d'isoler le détail essentiel : le cœur dans le thorax (9), le fossile dans sa gangue... On observe d'un œil neuf, à une échelle inhabituelle.

La cinémicrographie fait pénétrer dans un monde où hélas les images que l'on enregistre sont souvent de mauvaise qualité. Une technique éprouvée est ici de rigueur pour les films pédagogiques (4). C'est seulement dans les films de recherche, tel celui traitant de la circulation des hématies dans les capillaires d'un cœur perfusé en train de battre, que des séquences en cinémicrographie peuvent être présentées même si leur qualité n'est pas parfaite (10). C'est alors le sujet qui est captivant. Dans un film didactique, par contre, les images doivent être sans défaut. On doit pouvoir comparer aisément des images présentant différentes formes morphologiques de cellules (11). Le changement d'échelle, par passage de la réalité quotidienne à la réalité de la photomacrographie ou de la photomicrographie, provoque un regain d'attention.

Parfois la caméra se substitue à l'œil de l'observateur. En général, il est difficile d'obtenir des enregistrements dans ces conditions, car les instruments pour observation visuelle ne sont pas conçus pour que l'on enregistre l'image qu'ils donnent. Néanmoins, d'excellents plans peuvent être obtenus au prix de minutieux réglages, tel le déplacement des bandes d'absorption de la chlorophylle par réduction (8). Le spectateur participe à l'action dans son fauteuil; il entre dans la réalité.

Parfois la substitution ne va pas sans mal. L'enregistrement d'oscillogrammes est difficile à effectuer avec les caméras classiques à obturateur. On doit exposer à la même valeur le spot et sa rémanence en utilisant la courbe caractéristique de l'émulsion; seul le halo présente alors une stroboscopie faible, très supportable (12). Les oscillogrammes, peu utilisés dans les films, facilitent grandement la compréhension des phénomènes.

Le cinéma et la télévision étendent aussi notre champ de perception : le temps peut nous apparaître contracté ou dilaté, nos yeux, par l'intermédiaire des instruments, peuvent percevoir des vibrations auxquelles ils sont normalement insensibles.

Un phénomène enregistré à 3 000 images par seconde, et projeté à la cadence normale de 24 images par seconde, est observé ralenti 125 fois. Il faut, pour que la projection soit agréable, que la fixité de la caméra soit excellente, et le vignetage le plus faible possible. Sur une goutte d'eau en caléfaction, on perçoit à sa surface, la propagation complexe des ondes de vibrations (13). Un cœur de chien laisse entrevoir le déplacement de l'onde de contraction (13).

La télévision utilisée seule n'est d'aucun secours dans la perception temporelle, son champ perceptif étant semblable à celui de l'œil.

L'accélééré permet une analyse temporelle qui nous est directement interdite. Le tube de l'hermelle s'enrichit peu à peu de débris de coquilles transportés et enduits de mucus dans une gouttière tho-

racique (14). Un globule blanc, observé au microscope en contraste de phase et filmé à la cadence d'une image par seconde, se déplace très rapidement sur l'écran; en réalité, il lui faudrait environ huit jours pour parcourir la longueur d'une cigarette (11). Une plate-forme pour forages en haute mer révèle les opérations très complexes : inclinaison, création d'un tas de sable, mouvements de bascule, qui sont nécessaires à sa mise à l'eau et dont chaque cycle dure une heure, résumé en cinéma par une séquence de 15 secondes (1).

Un autre type d'accélééré, accessible à la perception humaine, peut être réalisé biologiquement. L'ormeau, animal sédentaire, se déplace peu. Effrayé par l'étoile de mer *Marthasterias glacialis* L., il s'enfuit, révélant les mouvements alternés de ses deux demi-soles pédieuses (15).

L'utilisation de rayonnement de courte longueur d'onde, l'ultraviolet, permet de percevoir la différence entre des grains de sable normaux et des grains de sable enduits de produit phosphorescent (2). L'utilisation de pellicules spéciales permet dans d'autres cas de percevoir par exemple des différences de pigmentation inaccessibles à l'œil.

L'utilisation conjointe d'un projecteur d'infra-rouges et d'une caméra de télévision pourvue d'un Vidicon sensible à ces radiations, permet d'observer sans les déranger des animaux fortement lucifuges comme certains termites (16). La télévision, qui assure un con-

trôle instantané de l'image, rend possible la réalisation de séquences qu'on ne peut obtenir directement en cinématographie infra-rouge. Il suffit, lorsque l'on utilise la télévision infra-rouge, de kinescoper l'écran d'un récepteur aux moments choisis pour obtenir un enregistrement sur film.

En rayons X, une caméra de télévision permet d'utiliser des doses très faibles de rayonnement. Dans l'étude de la motricité gastroduodénale des expériences ont été intégralement magnétoscopées, puis les meilleures séquences kinescopées (17).

Une caméra de télévision compacte, introduite dans un caisson étanche simple, donne jusqu'à une profondeur de 100 mètres des images faciles à obtenir : transport de grains de sable en gros plan, voltige sur les ripple-marks, travelling vers d'énormes blocs rocheux (18-30).

Ainsi le cinéma spécial, seul ou associé à la télévision en circuit fermé, ouvre des domaines plus ou moins interdits à nos sens. Il nous permet de bénéficier d'images souvent d'une indicible beauté, ainsi celles dues aux grains d'une périodite, roche des profondeurs de la terre, taillée en lame mince de trois centièmes de millimètre d'épaisseur et observée au microscope polarisant (19-4).

Mais souvent le réalisateur scientifique ne se contente pas d'images seules. Il recourt à des procédés qui ne sont utilisés fréquemment que dans les films publicitaires et industriels : le schéma et la surimpression,

LE SCHÉMA SANS SUPPORT IMAGE

Les schémas permettent de lier, d'expliciter, de compléter, de renforcer des séquences en vues réelles.

Ces plans en schémas sont parfois réalisés très simplement à partir de documents existants : ainsi des croquis muraux destinés à illustrer des cours, dessinés sur papier avec des encres de couleurs différentes, expliquent le principe des microélectrodes (12). Ce type de schéma est en général peu explicite, peu lisible, et, surtout, son esthétique ne convient pas à l'enregistrement.

On peut réaliser très aisément des schémas en papier découpé : le détail de l'installation d'un circuit fermé de télévision apparaît ainsi clairement (20). De tels schémas peuvent être animés par des tirettes.

Néanmoins, les schémas les plus utilisés en Sciences Naturelles au Centre Audio-Visuel sont dessinés sur « celluloïd » en à plats de couleurs, qu'il s'agisse de diagrammes dans un film de travaux pratiques (21) ou de coupes et de cartes dans des films de géologie (5-3). Ces schémas simples, qui sont composés pour l'image, ont un impact immédiat.

Une autre façon très efficace pour visualiser certains effets, réside dans l'animation en vue par vue : pour tracer une courbe, un petit morceau de chatterton blanc peut être déplacé entre chaque prise de vue sur un fond noir et composer une image continue pour le seul œil de la caméra (22).

Le danger dans la conception des schémas est l'accumulation de données. C'est ce que l'on peut observer sur un tableau résumé des cycles de la photosynthèse, réalisé dans la première partie par passages successifs dans une caméra (23), et dans la deuxième partie par l'utilisation d'une combinaison de filtres polarisants fixes ou mobiles éclairés par transparence et réflexion (24). Lorsque l'accumulation des données est trop importante, le message devient illisible, parfois même les éléments constitutifs du schéma ont alors une taille inférieure à la définition de la pellicule. L'habitude fait éviter ces écueils.

Un schéma qui semble animé, par exemple par déplacement d'un fond simulant la mer derrière la silhouette d'un carottier, apporte beaucoup à la compréhension et à l'esthétique d'un film (2).

L'idéal rarement accessible, car trop onéreux, est le schéma animé. Voir sur l'écran un plissement s'effacer et se reformer apporte un impact visuel certain (3).

LA SURIMPRESSION SUR L'IMAGE

La surimpression est un moyen idéal en cinéma et en télévision scientifique. En télévision, les surimpressions sont faciles à réaliser électroniquement : la superposition sur l'image d'une baguette ou d'un titre en est un exemple (25).

En cinéma, la surimpression offre plus de possibilités par le jeu simultané de la couleur,

Son intérêt essentiel réside dans le fait qu'au départ on utilise une image réelle, que ce soit une photographie ou une image immobilisée d'un plan.

C'est cette image que l'on surcharge plus ou moins, mais à laquelle on revient généralement ensuite. Tous les spectateurs perçoivent alors les détails qu'il fallait observer, ils voient à posteriori.

La surimpression peut être limitée à un trait et souligner un contact anormal (5), ou être composée par une série de lignes et retracer le système circulatoire d'une grenouille (28), ou constituer un ensemble de traits colorés figurant le réseau d'hyperboles d'un système de navigation Decca (2).

Ces surimpressions simples permettent aussi la réalisation de génériques peu coûteux, sur fond photographique comme dans « Du Pelvoux au Viso » (5), ou sur fond cinématographique mobile comme dans « L'Etoile de mer » (27).

La surimpression peut également être réalisée sur une photographie déjà élaborée. La photographie d'un microscope sur fond lumineux devient une silhouette sur laquelle apparaît un schéma avant que l'image réelle ne réapparaisse (7).

Une étape importante dans la mémorisation est franchie quand un fond noir intermédiaire est utilisé dans le décours du schéma. Sur la photographie réelle le schéma apparaît peu à peu, l'image réelle s'efface et le schéma, au lieu d'apparaître sur fond neutre, apparaît sur un fond noir; puis il apparaît à nouveau sur la photographie,

qui, à la fin du plan, reste seule sur l'écran (26). Le passage par le fond noir intermédiaire fixe l'attention et a tendance à oblitérer les images qui ont conduit à son élaboration. Le schéma reste seul mémorisé.

Parfois la surimpression n'est pas réalisée à l'aide de traits, mais par des tâches colorées. Celles-ci permettent d'isoler un élément dans un ensemble, par exemple l'appareil de Golgi dans la cellule (11). La tâche apparaissant, puis disparaissant, fixe les yeux du spectateur sur le point sur lequel on désire attirer son attention. Après la disparition de la tache, il ne voit plus qu'un sujet délimité dans l'image. Une apparition « cut » (en une image) suivie par un effacement en quarante images, est trop brutale. Une apparition en 20 images suivie par un effacement en 40 images est préférable et rend la synchronisation du commentaire plus facile (4).

Les traits et les taches peuvent être combinés, permettant par exemple d'expliquer les éléments principaux d'une cellule en un temps très court, tout en attirant l'attention sur différentes catégories d'éléments (organites, membrane, cytoplasme, pores...) (11).

Ce système peut encore être plus élaboré. Sur une photographie, une mitochondrie en coupe longitudinale est schématisée, ensuite la photographie est effacée et le schéma en coupe est transformé en schéma en volume. Puis ce schéma en volume est coupé transversalement. Sous ce schéma apparaît la

photographie correspondante d'une mitochondrie en coupe transversale. Le schéma est effacé et seule cette photographie reste sur l'écran (11).

La forme la plus élaborée de ce système d'animation est « l'image aérienne » ou « image virtuelle ». Le point de départ du schéma est un plan normal dont on recinématographie la projection de chaque image. Lorsque l'image repérée est atteinte, le plan original est immobilisé et l'image choisie est rephotographiée à loisir. Des dessins sur « celluloïd » éclairés par dessus, disposés dans le plan de la projection, peuvent masquer une partie de cette image et se substituer à elle. L'image projetée étant aérienne, il n'y a pas incompatibilité entre les systèmes d'éclairage. Il suffit de recinématographier les images suivantes du plan pour qu'il redevienne mobile (3-4). Ce procédé est éminemment pédagogique. Le déplacement de l'image permet sa perception en trois dimensions. L'arrêt attire l'attention. Le schéma explique l'arrêt. La photographie arrêtée sans schéma livre son contenu. Le contenu évolue lorsque l'image s'anime à nouveau. L'arrêt, par la surprise qu'il introduit dans le déroulement de l'action, est un puissant facteur de fixation visuelle.

Une variante plus achevée de ce type de surimpression consiste à faire apparaître, à la place d'un schéma, un dessin ombré semblant tridimensionnel : une omoplate par exemple (29); ou même à faire apparaître, après un schéma en coupe, un diagramme de trois-quarts,

cf. l'interprétation de la fenêtre du Guil (5). Le passage d'un schéma en plan ou en coupe, à une impression tridimensionnelle, produit une sensation de réalité plus forte que celle déclenchée par la vue réelle.

(+)

Dans notre « civilisation » de l'écriture et de l'image, c'est par un mélange complexe de procédés de ce type, échelonnés tout au long d'un film, que le réalisateur scientifique peut prétendre « accrocher » le spectateur et lui faire mémoriser un certain nombre de données, dès la première projection.

Ets BUSSON, impr., Paris

(+) - Filmographie cf. Annexe 2, paragraphe A, p. XL.

Il faut insister sur le processus d'animation employé au Centre Audio-Visuel par le groupe de Sciences Naturelles, processus qui est décrit dans cette note. Il s'agit pour les films de pédagogie, d'une méthode sinon originale, tout du moins qui n'avait pas été employée systématiquement.

Ce processus est caractérisé par l'utilisation, pour base des schémas, d'une image réelle qui est progressivement surchargée, parfois effacée quand le schéma est complet, mais qui est toujours présentée à nouveau à l'état brut en fin de plan. Cette démarche, permettant une analyse pédagogique, a posteriori, de l'image réelle, est très efficace. La deuxième caractéristique de ce processus est le recours fréquent à la technique de "l'image aérienne", dont l'emploi a conduit les animateurs travaillant pour nous, à affirmer leur technique.

Parmi les films de synthèse, "La Structure de la Cellule" occupe une place spéciale. C'est un film conçu, pour 90% de sa durée, sur photographies, comme l'est, dans le domaine du cinéma spectacle, "La Jetée" de C. MARKER. Malgré l'emploi massif de photographies, et bien qu'une série de diapositives existe en parallèle, ce film est le plus diffusé de ceux produits en Sciences Naturelles au Centre Audio-Visuel. C'est par des déplacements de caméra, par des variations de cadre, des travellings, par la construction des schémas par étape, que les photographies paraissent "animées" et que ce film présente une apparence conventionnelle. Certains défauts de réalisation dans la succession des points forts de l'image ont provoqué la naissance de quelques raccords heurtés. Le budget du film n'a pas permis un retournage de ces animations.

L'ensemble du processus de réalisation et d'animation sous la forme que nous venons de décrire est original, et propre à la production de films de Sciences Naturelles au Centre Audio-Visuel.

5.1.4/ FILS CONDUCTEURS ET ANIMATIONS DANS LES FILMS DE SYNTHÈSE :

La forme des films de synthèse, même dans la série des documents de géologie régionale, n'est cependant pas figée. La production est prototype, et c'est au niveau des fils conducteurs et de l'animation que se situe l'évolution :

- . Dans "Du Pelvoux au Viso" : - la coupe linéaire présentée est construite peu à peu ; - les animations sont effectuées pour la plupart sur photographies ; - quelques-unes par surimpression sur des plans en mouvement par Truca, ce qui permet seulement de superposer un schéma simple aux traits blancs sur l'image ; - l'ensemble reste statique.
- . Dans "Les Chaînes Subalpines" : - ce sont des exemples distants les uns des autres, situés géographiquement sur carte, qui sont comparés ; - c'est dans ce film qu'a été utilisée pour la première fois "l'image aérienne", permettant de superposer un schéma complexe en couleur sur l'image ; - les nombreux déboires successifs rencontrés à ce niveau ont été catastrophiques pour la maison d'animation concernée, ainsi que pour le délai de sortie du film qui s'est trouvé allongé de plus d'un an en raison des retournages successifs ; - l'inversion involontaire des sens de défilement de l'image lors de la réalisation de la séquence Esclançon a considérablement compliqué son élaboration finale ; - la première séquence d'animation du film est d'une durée trop importante.
- . Dans "Le Volcanisme en France" : - chacune des 3 unités est analysée par la sommation d'éléments de détail non localisés géographiquement (cette conception de non localisation, parfaitement justifiée sur le plan théorique, déroute parfois les spectateurs) ; - "l'image aérienne", dans ce film, atteint une qualité correcte et ce n'est qu'au niveau des diapositives qui en sont extraites que le manque de définition se fait nettement sentir ; - c'est le premier film de la série dans lequel les raccords d'échelles de plans soient élaborés ; - le schéma de la Barre d'Ordanche, mal réalisé, ne donne pas une idée de volume comme il aurait été souhaitable ; - la gerbe de prismes d'Azinières de structure répétitive, cinématographiée en panoramique, conduit en projection à une stroboscopie importante, un plan fixe aurait été préférable, bien que de champ obligatoirement plus réduit.

- . Dans la "Zone axiale Pyrénéenne, 500 millions d'années d'histoire géologique" : - la carte stratigraphique est peu à peu construite par sommation d'éléments de détails sur une zone dont les traits géographiques essentiels ont été présentés dès le départ ; - la plupart des noms géographiques sont prononcés dans le commentaire et donnent au spectateur une impression de localisation ; - la qualité de "l'image aérienne" est telle que, même pour l'oeil exercé, elle ne se différencie plus guère des plans non surchargés avoisinants ; - les diapositives extraites de ces animations sont excellentes ; - un nouveau type de schémas sur fond noir est utilisé pour les généralisations paléogéographiques, ce qui évite d'avoir à délimiter avec précision les zones considérées.

5.1.5/ PROSPECTIVE AU SUJET DES FILMS DE SYNTHESE :

Deux films de géologie régionale sont actuellement en finition de tournage. Leur réalisation fait appel à de nouveaux procédés dans le but d'améliorer la qualité finale du document :

- . Dans "La Provence" (titre provisoire) : - la découverte historique de notions géologiques sera mise en exergue ; - au premier tiers du film, après mise en place des domaines, l'ensemble du vol va être tracé en animation, des repères indiquant la localisation des plans tournés, avant qu'ils n'apparaissent ; - les séquences aériennes étant tournées par la droite et la gauche, des schémas de raccordement des sens de vol sont prévus (l'ensemble du vol est architecturé suivant trois directions : Est/Ouest, Ouest/Est et enfin Sud/Nord) ; - par rapport aux films précédents, un plus grand nombre de plans tournés au sol seront raccordés aux plans aériens ; - l'animation utilisée pour la fenêtre du Guil, un bloc diagramme dessiné se superposant à une vue réelle du paysage, va être développée par l'utilisation d'une maquette tridimensionnelle à éléments emboîtables.
- . Dans "Le Bassin Parisien" (titre provisoire) : - le survol est organisé suivant trois directions principales : Est/Ouest, Sud-Ouest/Nord-Est, et enfin Nord/Sud ; - chaque vol sera présenté en schéma au début du parcours et les plans seront repérés par un signe conventionnel : un angle (la largeur de l'angle aura pour effet secondaire de renseigner le spectateur sur l'échelle des plans comme dans "La Provence" ;

- la notion de faciès sera largement développée dans les plans tournés au cours des vols ;
- la schématisation ne sera pas effectuée par superposition au paysage réel de lignes et de zones colorées, mais par extraction à partir de l'image réelle d'un dessin ombré simplifié, suivant la technique employée dans l'ouvrage de J.S. SHELTON (1966) ;
- les schémas de captures ne seront pas effectués sur des images obtenues en prise de vue oblique, mais sur des photographies prises à la verticale à échelle très réduite.

Ces films de synthèse, destinés à l'illustration des cours, sont souvent employés en remplacement des excursions. Ce n'est pas leur destination, ils devraient dans ce cas servir seulement à préparer ou à conclure les excursions. Cette pratique est due aux difficultés que rencontrent de nombreux laboratoires pour organiser des déplacements.

En réalisation, d'autres voies sont à explorer :

- les étudiants étant très sensibles à la possibilité d'analyse qu'apportent les images fixes, il serait intéressant de réaliser des montages sonorisés de diapositives, suivant les techniques décrites par C. MADIER (1968). Néanmoins, en raison de l'absence actuelle de normalisation pour les tops de synchronisation, et du fait qu'aucun matériel n'est agréé, ce type de production pose des problèmes de diffusion,
- l'application des procédés permettant d'obtenir la perception d'images en relief est à envisager : anaglyphes (procédé simple mais rarement utilisé, R. SEUBE et J.C. ALEXANDRE, 1969), stéréoscopie par polarisation, ou plus simplement planoscopie par polarisation (le premier essai tenté au Centre Audio-Visuel dans ce domaine s'est révélé particulièrement éloquent, F. SAMOÛELIAN, 1970).

5.1.6/ DOCUMENTS D'ACCOMPAGNEMENT ET PUBLICATIONS CONCERNANT LES FILMS DE SYNTHESE :

Il ressort de l'article consacré à la réalisation, paragraphe 53, que la forme donnée en Sciences Naturelles au Centre Audio-Visuel aux séries de diapositives d'accompagnement des films de synthèse est originale. La partie écrite, largement développée, est très employée par les utilisateurs. Ces séries donnant satisfaction, la formule sera conservée dans son intégrité.

L'innovation importante dans ce domaine : l'édition de séries de diapositives de géologie régionale destinées aux "amateurs", sera reprise si le succès commercial permet de couvrir l'immobilisation financière de la firme éditrice. Le recul est actuellement insuffisant pour porter un jugement, mais il est à souhaiter que l'opération soit rentable, car rien ne peut remplacer une vulgarisation de première main.

L'ensemble des textes publiés dans chaque série de diapositives constitue une note de synthèse sur le sujet traité.

Fréquemment, le film entraîne de plus la publication de notes spécialisées. Celles-ci sont le plus souvent l'oeuvre des conseillers scientifiques (par exemple : J. DEBELMAS 1965 ; M. LEMOINE 1965), mais aussi parfois des réalisateurs comme :

"La Structure de la Cellule" p 212 à 221,

note publiée dans les "Actes de la 26ème Semaine de Synthèse organisée en 1964 par le Centre International de Synthèse" :

La Biologie, acquisitions récentes, 1965, Ed. Aubier Montaigne, Paris, 1 Vol., 308 pages.

2

LA STRUCTURE DE LA CELLULE

J. Valérien, G. Boubot

Une cellule animale vivante (par exemple un globule blanc d'Axolotl observé au microscope ordinaire) est un territoire délimité par une membrane souple qui permet la déformation; — au centre, la masse lobée plus sombre est le noyau; — la masse cellulaire qui entoure le noyau est une sorte de gelée, le cytoplasme, dans lequel évoluent de nombreux corpuscules, les organites cytoplasmiques.

Les cellules végétales, comme celles de l'épiderme d'oignon, ne présentent pas de différences fondamentales avec les cellules animales; — notons cependant qu'elles sont enfermées dans une membrane épaisse et rigide qui ne permet pas la déformation.

La caractéristique même de la vie réside dans la propriété que possède une cellule, grâce à un apport d'énergie, de fabriquer sa propre substance.

La cellule est en effet une entité dynamique dont les mécanismes ne peuvent être clairement démontrés sans l'apport de nombreuses sciences, la biochimie, la physiologie en particulier.

Ce que le microscope nous révèle, et que nous appelons structure, n'est rien d'autre qu'un état, qu'un arrangement moléculaire à évolution si lente qu'il peut être observé.

L'interprétation de cette structure a suivi la mise au point d'instruments d'investigation de plus en plus perfectionnés. Les données des microscopes dits photoniques (microscopie simple, fond noir, contraste de phase, contraste interférentiel) ne permettent pas d'observer des détails de structure allant jusqu'à l'arrangement moléculaire. Le microscope électronique permet de tenter une meilleure approche du problème.

L'observation de cellules au microscope électronique demande la réalisation de coupes ultrafines, de l'ordre du 1/20.000 de millimètre et l'emploi de techniques de fixation et d'inclusion qui altèrent plus ou moins profondément les structures cellulaires. Malgré ces limitations, les données récentes de la microscopie électronique ont permis un énorme progrès dans la connaissance de la structure fine, encore appelée ultrastructure de la cellule.

ACQUISITIONS RÉCENTES EN BIOLOGIE

Ce sont ces nouvelles données que le film réalisé par le Centre Audio-Visuel de l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud¹ tente de vulgariser en une synthèse n'ayant pas pour but d'apporter des connaissances nouvelles (un seul film n'y suffirait pas) mais se proposant plus modestement de récapituler les notions acquises sur la structure de la cellule à la fin du cours de biologie cellulaire.

A un très faible grossissement, une cellule observée au microscope électronique offre un aspect peu différent de celui révélé par le microscope optique. Nous reconnaissons les limites cellulaires, les noyaux et de nombreux organites cytoplasmiques (cellule animale planche I, photo 1, cellule végétale planche I, photo 2)².

Une cellule végétale est limitée par une membrane souple ou plasmique, parfois appelée pellicule ectoplasmique, doublée à l'extérieur par une membrane rigide, de nature cellulosique. Les membranes accolées de deux cellules voisines sont séparées par une lamelle de nature pectique. L'ensemble est dit pecto-cellulosique. La lamelle moyenne se dédouble parfois à la jonction des cellules, créant des espaces intercellulaires ou méats. La photo 4 de la planche I montre de fines perforations de la membrane pecto-cellulosique. Au niveau de ces perforations appelées plasmodesmes, le cytoplasme des cellules voisines est en continuité.

La cellule animale, elle, n'est limitée que par la seule membrane souple ou pellicule ectoplasmique. Le détail de la photo 1, planche I, montre qu'à un très fort grossissement, cette membrane est formée par deux feuillets denses séparés par un feuillet clair, ce que les physicochimistes interprètent comme une couche bimoléculaire de phospholipides encadrée par deux assises protéiques. La membrane plasmique des cellules animales présente parfois des différenciations : par exemple, les cellules épithéliales montrent souvent des engrenages, des ancrages formés par imbrication des membranes voisines; — ces mêmes cellules sont encore attachées les unes aux autres par des desmosomes, points particuliers de leur membrane munis d'une couche dense vers laquelle convergent des fibres cytoplasmiques (planche I, photo 3).

Toute la surface de la membrane plasmique joue un rôle très important dans les phénomènes d'échanges et de diffusion. On observe parfois, à partir d'invaginations de la membrane, la naissance, puis la migration dans le cytoplasme de petites vacuoles (planche I, photo 8).

1. *La structure de la cellule*, un film du Centre Audio-Visuel de l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud, réalisé par J. Valérien et G. Bouhot (couleur, sonore, 30 minutes).

Les documents originaux du film, comme ceux des planches I et II ont été communiqués par les membres de la Société Française de Microscopie Electronique, qui a apporté au film son parrainage scientifique. Qu'il nous soit permis de remercier tout particulièrement MM. les professeurs André, Bernhardt, Buvat, Collet, Couteaux et Favard.

Ce film peut être emprunté à la cinémathèque de l'Office du Film de Recherche Scientifique, 96, boulevard Raspail, Paris-5°.

2. Voir p. 40. Les légendes sont placées au dos des planches.

LA STRUCTURE DE LA CELLULE

Ce phénomène, auquel on donne le nom de pinocytose, s'observe également chez les cellules végétales. Il assure sans aucun doute un transport de substances de l'extérieur vers l'intérieur de la cellule.

En dehors des organites nettement différenciés que nous décrirons plus loin le cytoplasme paraît vide au microscope optique. Le microscope électronique relève qu'en fait le cytoplasme est parcouru par un réseau de cavités, de saccules et de canalicules intracytoplasmiques, réseau auquel on donne le nom d'ergastoplasme ou de réticulum endoplasmique. Ce réseau est particulièrement développé dans certaines cellules, comme dans la cellule pancréatique présentée planche I, photo 5.

A un fort grossissement, on distingue à la surface externe des membranes ergastoplasmiques limitant les cavités de très nombreuses granulations qui se révèlent riches en acide ribonucléique, ce qui explique leur nom de ribosomes. Ces ribosomes interviennent lors de la synthèse des protéines, synthèses importantes car les protéines sont la base même de la structure cellulaire. La présence de ribosomes caractérise un type de réticulum dit rugueux ou « rough ». Lorsqu'il en est dépourvu, le réticulum est dit lisse ou « smooth ».

Certaines images, comme celle de la planche I, photo 4, représentant une portion de cellule végétale, montrent que les nappes les plus externes de l'ergastoplasme de type lisse envoient régulièrement des diverticules tubulaires qui se rendent aux orifices des plasmodesmes.

L'ergastoplasme est également en relation avec l'enveloppe nucléaire, formée d'une double membrane. L'une de ces membranes est appliquée contre le noyau, l'autre contre le cytoplasme. Entre les deux existe un espace dit périnucléaire qui est en continuité avec les cavités de l'ergastoplasme. L'enveloppe du noyau est parsemée de structures particulières nommées à tort ou à raison, pores, vus de face sur la photo 6 de la planche II. On pense que les échanges entre le cytoplasme et le noyau se font à leur niveau.

Poursuivant l'étude des organites cytoplasmiques, décrivons maintenant des organites assez denses, les mitochondries. Le microscope ordinaire permet déjà de préciser leur forme et leur rôle : on met en évidence les mitochondries d'une préparation vivante en les colorant par le vert Janus. Le fait que les mitochondries fixent ce colorant alors que les autres parties de la cellule ne le retiennent pas implique déjà qu'une mitochondrie vivante est le siège de phénomènes d'oxydo-réduction; phénomènes qui interviennent dans la respiration cellulaire. Le microscope électronique apporte de nombreuses précisions. Il révèle qu'une mitochondrie est en fait un sac à double paroi, et que de la paroi interne se détachent de nombreux replis grossièrement parallèles qu'on appelle des crêtes (photo 1, planche II). Ces crêtes portent, sur leur face externe, des sphérules régulièrement espacées, portées par de courts pédicelles. On identifie actuellement ces structures à celles de certaines enzymes qui interviennent lors des processus intimes de la respiration, processus qui produisent les libérations d'énergie nécessaire à la vie de la cellule.

La structure mitochondriale que nous venons de décrire se transforme parfois au cours de la spécialisation cellulaire. Donnons-en un exemple que l'on peut

ACQUISITIONS RÉCENTES EN BIOLOGIE

observer lors de la formation des spermatozoïdes de certains papillons ou de certains gastéropodes (planche II, photo 2). La coupe d'un faisceau de spermatozoïdes en formation montre que l'ensemble des mitochondries de la cellule se sont regroupées en un complexe dans lequel le matériel mitochondrial est condensé en lamelles équidistantes qui évoquent un arrangement tridimensionnel peu différent de celui d'un cristal. Dans ce pseudo-cristal, les enzymes, matériel riche de la cellule, sont dans un état d'attente tout comme l'est le matériel génétique du noyau jusqu'au moment où il est destiné à être hérité par les générations suivantes.

Étudions maintenant l'appareil de Golgi. Il s'agit d'un organite cytoplasmique que l'on a d'abord décrit chez certains protozoaires, où il revêt une forme somptueuse.

On a retrouvé de façon constante avec le microscope électronique des structures golgiennes tant dans les cellules animales que végétales.

Ces structures comportent plusieurs unités distinctes, chaque unité ou dictyosome étant formé d'un certain nombre de lamelles empilées (planche I, photo 7). Les lamelles sont le plus souvent en relation avec des vésicules situées à leur périphérie, ce qui semble impliquer un rôle sécrétoire à l'appareil de Golgi.

Chez les cellules germinales mâles, le rôle sécréteur de l'appareil de Golgi peut être clairement démontré : c'est à partir de dictyosomes que s'élabore un énorme grain de sécrétion qui formera plus tard l'acrosome du gamète mâle.

Alors que les organites que nous venons de décrire se trouvent aussi bien dans les cellules animales que dans les cellules végétales, il existe dans ces dernières des organites spécifiques : ce sont les chloroplastes. La simple observation de cellules vivantes d'*Elodée* au microscope ordinaire montre des corpuscules verts, animés d'un lent mouvement de cyclose. Leur couleur verte est due à la présence de pigments chlorophylliens, pigments qui permettent aux plantes de capter l'énergie lumineuse. La photo 6 de la planche I nous montre un chloroplaste d'*Elodée* observé au microscope électronique. Il se présente comme un sac à double paroi. De la paroi interne se détachent des lamelles parfois empilées en amas denses. Les pigments de la photosynthèse prennent naissance dans ces empilements de lamelles appelés grana : chaque granum est un petit cylindre de 0,5 micron de long, de 0,1 micron de diamètre, comportant de 8 à 20 lamelles.

Les produits de la photosynthèse s'accumulent dans des plastes spécialisés. Les amyloplastes par exemple, contiennent de nombreux grains d'amidon.

Chez les cellules végétales jeunes on observe des enclaves étoilées (planche I, photo 4). Il s'agit des futures vacuoles où vont s'accumuler des substances minérales et organiques. Si leur aspect étoilé est parfois un artefact dû à une perte d'eau lors de la fixation, on constate souvent que les prolongements effilés des jeunes vacuoles ont un aspect identique au réticulum endoplasmique, qui pourrait être à l'origine des vacuoles.

Bien qu'inertes, les vacuoles jouent un rôle très important dans la vie de la cellule végétale par l'accumulation et la mise en réserve de substances, et par le maintien de la turgescence.

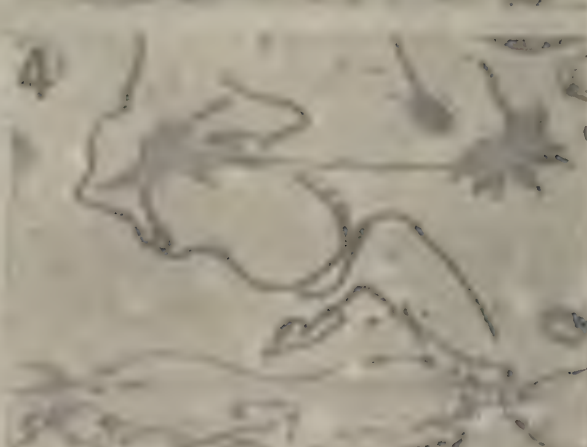


PLANCHE I

PLANCHE I

LÉGENDES

- Fig. 1.* — Cellules animales ($\times 33\,000$). Encart : Détail de la membrane ($\times 480\,000$).
Photo André (Institut de Recherches sur le cancer)
- Fig. 2.* — Cellules végétales ($\times 5000$). *Photo Buvat (Laboratoire de botanique).*
- Fig. 3.* — Desmosome. *Photo Baretz (Laboratoire de Synthèse atomique).*
- Fig. 4.* — Détail de la membrane végétale : plasmodesme, ergastoplasme. Au-dessus, vacuoles ($\times 15\,000$).
Photo Buvat (Laboratoire de botanique).
- Fig. 5.* — Noyau et ergastoplasme de pancréas de souris ($\times 9000$).
Photo André (Institut de Recherches sur le cancer).
- Fig. 6.* — Chloroplaste d'élodée. *Photo Buvat (Laboratoire de botanique).*
- Fig. 7.* — Appareil de Golgi (plasmocyte souris) ($\times 11\,000$).
Photo André (Institut de Recherches sur le cancer).
- Fig. 8.* — Pinocytose dans cellule animale ($\times 22\,000$).
Photo André (Institut de Recherches sur le cancer).



PLANCHE II

PLANCHE II

LÉGENDES

- Fig. 1. — Mitochondries dans cellule animale ($\times 60\,000$).
Photo André (Institut de Recherches sur le cancer).*
- Fig. 2. — Structure mitochondriale dans les spermatozoïdes d'un gastéropode ($\times 23\,000$).
Photo André (Institut de Recherches sur le cancer).*
- Fig. 3. — Coupe longitudinale d'une fibre géante d'insecte ($\times 15\,000$).
Photo Auber, Couteaux (Laboratoire de Microscopie électronique appliquée à la biologie).*
- Fig. 4. — Coupe transversale d'une fibre géante d'insecte au niveau d'une strie ($\times 75\,000$).
Photo Auber, Couteaux (Laboratoire de Microscopie électronique appliquée à la biologie).*
- Fig. 5. — Noyaux isolés ($\times 5\,000$).
Photo Hubert et Coll. (Laboratoire de Synthèse atomique).*
- Fig. 6. — Pores de l'enveloppe nucléaire dans une cellule végétale.
Photo Buvat (Laboratoire de botanique).*
- Fig. 7. — RN virus (à gauche) et RN virus ayant subi une digestion enzymatique ($\times 20\,000$).
Photo Bernhard (Institut de Recherches sur le cancer).*
- Fig. 8. — Autoradiographie ($\times 10\,000$).
Photo Granboulan (Institut de Recherches sur le cancer).*

LA STRUCTURE DE LA CELLULE

Le cytoplasme d'une cellule contient encore de nombreux corps, de nombreuses vésicules, de nombreuses granulations plus ou moins faciles à identifier. On trouvera par exemple des gouttelettes lipidiques dans telle cellule végétale, des granulations de glycogène dans telle cellule animale (hépatique par exemple).

Chez les cellules animales des méthodes biophysiques et biochimiques avaient permis de déceler l'existence de corpuscules ayant une densité déterminée et contenant de nombreux enzymes hydrolytiques. Le microscope électronique a permis de confirmer l'existence de tels corpuscules, appelés lysosomes.

D'autres organites du cytoplasme jouent un rôle important dans les mouvements cellulaires : le microscope ordinaire révèle déjà l'existence chez les cellules animales d'un centre cellulaire. Le microscope électronique permet d'en préciser la structure.

Le centre cellulaire d'une cellule animale se compose d'une zone claire entourant deux corps voisins très denses, appelés centrioles.

En coupe transversale, un centriole se présente sous la forme d'un cercle composé par neuf séries de trois tubules accolés appelés triplets. Chaque triplet est relié aux triplets voisins. Une coupe longitudinale montre que les neuf triplets sont disposés sur la paroi d'un cylindre. Lorsque la cellule va se diviser, les deux centrioles du centre cellulaire se divisent, chaque centriole originel donnant un centriole fils. Chaque paire de centrioles migre à l'un des pôles de la cellule, en élaborant un faisceau de fibres, ou fuseau, sur lequel vont se regrouper les chromosomes.

Pour terminer l'étude des organites cytoplasmiques, il nous faut encore signaler que le cytoplasme de certaines cellules animales présente des différenciations fibrillaires. Dans l'épithélium de la vessie de grenouille composé d'une seule assise cellulaire, on constate la présence de nombreuses fibrilles qui jouent vraisemblablement un rôle dans la résistance mécanique de la paroi vésicale.

Une différenciation fibrillaire particulièrement spectaculaire et importante se rencontre dans les fibres musculaires. Dans une coupe longitudinale de fibre géante d'insecte (planche II, photo 3) les myofilaments responsables de la contraction sont séparés par des stries transversales. En coupe transversale au niveau d'une de ces stries, les myofilaments présentent un arrangement qui rappelle une disposition cristalline. On distingue des myofilaments primaires, à disposition hexagonale centrée. A mi-distance entre deux filaments primaires se trouvent des myofilaments secondaires, de section plus petite (planche II, photo 4). Ce réseau formé d'acto-myosine, est responsable de la contraction musculaire.

Si le microscope électronique nous a permis de préciser la structure complexe des différenciations cytoplasmiques, il ne nous apporte par contre que peu de renseignements sur le contenu du noyau. S'il confirme les données classiques en ce qui concerne le nucléole et la répartition de la chromatine, il n'a pas encore apporté beaucoup de précisions à l'étude des chromosomes et des acides nucléiques. Cette étude est pourtant fondamentale, car ces acides nucléiques sont les maîtres d'œuvre, les architectes qui président à l'élaboration de la substance vivante. On est

ACQUISITIONS RÉCENTES EN BIOLOGIE

ainsi amené à étudier le noyau par d'autres méthodes, où la biochimie joue le plus grand rôle. On arrive, par des traitements appropriés, à séparer les noyaux du cytoplasme (planche II, photo 5). Sur ces noyaux isolés, on peut alors faire par exemple des analyses biochimiques précises.

Une autre méthode biochimique consiste à digérer spécifiquement certains constituants des cellules ou des virus. Des virus riches en acide ribonucléique sont soumis à l'action prolongée d'une ribonucléase. Celle-ci provoque une disparition de l'A.R.N. ainsi localisé au centre du virus (planche II, photo 7). Indiquons une dernière approche de l'étude du noyau. On fournit à la cellule un précurseur d'acide nucléique radioactif qui se retrouve dans les produits de synthèse élaborés par la cellule. Les éléments marqués peuvent être très précisément localisés par autoradiographie (planche II, photo 8).

Voici donc, rapidement décrite, la structure des différentes parties — on est tenté de dire des différents organes — qui composent une cellule. Le trait le plus marquant de cette structure, c'est son uniformité à travers le monde vivant : il n'y a, par exemple, pas de différence essentielle entre une mitochondrie de moisissure et une mitochondrie de cerveau humain.

Cette uniformité de structure suppose évidemment une uniformité de fonctionnement. A l'échelle moléculaire, la cellule est, peut-on dire, le dénominateur commun de tout système vivant.

Des sciences diverses, biochimie, biophysique, physiologie convergent à l'heure actuelle avec la cytologie pour déchiffrer cette biologie moléculaire, et l'on commence à comprendre comment une cellule peut copier ses propres molécules et céder à ses cellules filles le pouvoir d'en faire autant.

Sur le sujet la "Structure de la Cellule", la série de diapositives et son livret d'accompagnement complétés par l'article de synthèse, éléments diffusés en 1964 et en 1965, ont formé le seul ensemble intégré de documents conçu pour la pédagogie alors disponibles en langue française. Ce fait a renforcé l'impact du film auprès de son public.

De façon générale, un film et l'ensemble des documents le soutenant constituent une unité pédagogique sur le sujet.

Les notions qui concourent à la conception des sujets traités étant des données de base qui ne sont pas remises en question fréquemment, on peut estimer à environ 10 ans la durée moyenne d'exploitation de ces documents.

5.1.7/ AUTRES TYPES DE FILMS

La réalisation des autres types de films emprunte les mêmes solutions, mais ces documents sont moins élaborés, car réalisés avec des moyens moindres, ce qui s'accorde souvent avec leur diffusion.

Films de Travaux Pratiques, de Travaux Dirigés, d'Enseignement Post-Universitaire, d'Apprentissage de Technique et de Vulgarisation :

Les nombreux films appartenant à cette catégorie (environ 30), et les nombreuses émissions post-universitaires réalisées sur films et destinées à l'exploitation par le réseau national de l'ORUF (environ 60), sont consignés dans le Bilan des Travaux de l'Equipe de Sciences Naturelles (G. BOUHOT, 1969) et ne peuvent être détaillés ici.

Pour certains de ces films, des documents d'accompagnement différents de ceux des films de synthèse ont été essayés :

- texte du film sur feuilles multigraphiées,
- fiches pour les films de Travaux Pratiques, destinées aux Maîtres-Assistants et aux étudiants,
- publication, pour les émissions post-universitaires, du texte et des schémas de chaque émission dans les revues de spécialité.

L'impact des films de travaux pratiques s'étend bien au-delà de ce que l'on pourrait penser de prime abord. La réalisation de l'ensemble des films de travaux pratiques envisagés en Physiologie Animale et de leurs documents d'accompagnement ira beaucoup plus loin que la simple production d'une série de "documents". Ce sera la façon la plus directe de parvenir à établir des travaux pratiques homogènes à l'échelon national. Déjà le film "Les échanges d'eau dans la vessie de la grenouille" a entraîné le montage de la séance correspondante dans de nombreux laboratoires, comme en témoigne le courrier reçu. Les fiches de films, destinées aux Maître-Assistants et aux étudiants, trouveront alors tout leur emploi. Une série de diapositives explicitant les montages effectués avec des matériels d'autres marques que ceux utilisés dans le film, est prévue à l'appui de chaque film. Des agrandissements sur papier des phases essentielles du film sont envisagés pour affichage dans les salles de travaux pratiques.

Films pédagogiques :

Il s'agit actuellement de 10 films existant en copie unique, plus ou moins élaborés, effectués à propos de problèmes spéciaux de cinéma, et destinés à la formation des stagiaires du Centre Audio-Visuel, comme :

LE CYLINDRE

G. BOUHOT. Documents réalisés sur un même sujet, destinés à présenter les aspects pédagogiques et techniques de 4 systèmes audiovisuels : diascopie, rétroprojection, circuit fermé de télévision et cinéma.

STROBOSCOPIE DU SPOT D'UN OSCILLOGRAPHE

Grâce à l'usage adéquat de la courbe caractéristique de la pellicule, la stroboscopie peut être éliminée (cf. p 54).

G. BOUHOT. 16 mm, couleur et noir et blanc, en cours de finition.

De nombreux documents seraient à réaliser dans cette voie pour la formation des étudiants. Ce type de cinémathèque est actuellement inexistant, bien que fondamental aussi pour la formation des formateurs. Certains de ces films ont donné lieu a posteriori, ou au préalable, à un usage public en congrès :

- . LE ROLE DU FILM DANS UNE EMISSION DE TELEVISION EDUCATIVE
- . ELARGISSEMENT DU DOMAINE PERCEPTIF PAR LA TELEVISION
- . LA-VISUALISATION DANS LES FILMS DE SCIENCES NATURELLES

Emissions filmées réalisées pour le IIIe Congrès de l'Union Européenne de Radiodiffusion. Paris, mars 1967.

Réalisation des montages : G. BOUHOT, A. PAILLÉ, J. VALERIEN, diffusion par CF de TV.

La réalisation de ce type de documents à vocation double : formation interne, information externe, doit être développée dans l'avenir, afin de constituer la cinémathèque de base destinée à illustrer les cours sur les techniques de la cinématographie, de la photographie et de la télévision.

Formation pédagogique :

L'utilisation du cinéma ainsi que de la photo peut également être appliquée en pédagogie à la formation des enseignants. Deux études théoriques ont déjà été réalisées à ce sujet, concernant la nature et l'implantation du matériel à employer afin de pouvoir conduire une étude coordonnée grâce à des images obtenues à partir de plusieurs points de vue.

FORMATION DES ENSEIGNANTS, MOYENS CINEMATOGRAPHIQUES, ET
FORMATION DES ENSEIGNANTS, MOYENS PHOTOGRAPHIQUES

G. BOUHOT, Centre Audio-Visuel, E.N.S. de Saint-Cloud
Chapitres d'un livre édité par le Conseil de l'Europe (en cours de publication), manuscrits déposés en novembre 1968.

Adaptations pour l'Enseignement Secondaire :

La production des films du Groupe de Sciences Naturelles du Centre Audio-Visuel a été agréée, par les membres de la Commission Ministérielle des Moyens d'Enseignement, pour la formation continue des professeurs du secondaire. A leur demande, des adaptations de films au niveau des élèves de quatrième pour la géologie, et des classes terminales pour la biologie, sont en cours d'achèvement :

LE VOLCANISME I : La Chaîne des Puys

LE VOLCANISME II : Le Massif du Cantal

LA STRUCTURE DE LA CELLULE (ainsi qu'une série de diapositives éditée par le Centre d'Equipement de l'IPN)

Une série de diapositives a été conçue par extrapolation du document "Microphotographies de roches volcaniques" :

PETROGRAPHIE DE BASE (titre provisoire)

Série réalisée à l'initiative de Monsieur l'Inspecteur Général PANIEL pour le Centre d'Equipement de l'I.P.N. (en cours de production).

Les adaptations sont le complément souhaitable aux productions destinées à l'enseignement supérieur. Nous faisons remarquer qu'il s'agit néanmoins d'un pis aller. Les documents destinés au secondaire devraient être conçus dès le départ pour le secondaire, et tournés en parallèle des documents d'enseignement supérieur. Car, si la refonte d'une série de diapositives, par addition ou suppression de vues, est facile, l'enchaînement des images dans un film impose la présence de plans complémentaires lors de l'adaptation au niveau secondaire. En effet, le rythme du film devrait être ralenti par des plans qui hélas ne sont pas disponibles, n'ayant pas été tournés en temps opportun. Il faut alors multiplier artificiellement les animations pour que le film acquière le rythme adéquat, mais alors la continuité visuelle est menacée.

Un essai est en cours avec le film "Le Bassin Parisien" (titre provisoire) : l'orientation actuelle pour ce document, est la réalisation d'un film utilisable conjointement aux niveaux secondaire et supérieur. Si, lors du visionnement de la copie de travail, le niveau semble trop élevé, deux versions seront envisagées, mais cette solution ne répondrait pas au but recherché. Il s'agit d'un essai qui permettra de dégager une nouvelle méthodologie de travail pour certains films dont le niveau du contenu est ambigu.

Co-production :

Si des images peuvent être tournées par une équipe et que la réalisation et l'animation peuvent être conçues par une autre, la production de films sur des régions d'accès difficile pourra être envisagée.

C'est une expérience de ce type qui vient d'être entreprise à l'échelle d'un film. Des géologues de l'Institut Français des Pétroles, au cours d'une série de missions étagées sur plusieurs

années, ont effectué des prises de vues qui sont en cours d'élaboration et d'animation par le Groupe de Sciences Naturelles du Centre Audio-Visuel en vue de la co-production du film :

GRES ANCIENS, SABLES ACTUELS, SEDIMENTOLOGIE AU SAHARA CENTRAL
(titre provisoire).

Il s'agit là pour l'équipe, d'un type de travail nouveau, qui requiert une adaptation des méthodes de travail pré-établies. Ce processus se rapproche de la mise en forme par un réalisateur d'images de travail obtenues par un scientifique, en vue de l'élaboration d'un film de recherche, travail spécifique du Service du Film de Recherche Scientifique.

Production pour l'Enseignement Secondaire, films 8 mm plan/séquence :

Nous avons été d'autre part conduit à participer à l'élaboration, puis à la mise en place, de la production de films 8 mm en Sciences Naturelles. Nous avons réalisé dans ce domaine particulier 35 films. Les films de 8 mm, qui doivent contenir un nombre restreint de plans, servir un seul concept, présenter des animations claires, et laisser au professeur le temps nécessaire au commentaire, sont particulièrement difficiles à réaliser et impliquent une rigueur de conception particulière. Ils peuvent :

- soit être conçus comme des films de montage type 16 mm, mais à rythme très lent,
- soit se rapprocher de la solution théorique du plan séquence (lorsque cette formule est applicable, elle se révèle la meilleure, le cheminement de pensée apparaissant plus clairement dans le document).

Nous ne retiendrons que les derniers films de 8 mm produits, pour lesquels nous avons introduit à l'appui du film une série restreinte de diapositives, (à l'exemple de ce que nous avons déjà réalisé pour l'Enseignement Supérieur). Il s'agit d'une conception nouvelle dans la production 8 mm de l'Institut Pédagogique National, qui a reçu un très bon accueil de la part des utilisateurs en raison de la liberté d'utilisation qu'elle engendre :

LA CONTRACTION MUSCULAIRE, GASTROCNEMIEN DE GRENOUILLE
(film 8 mm et 4 diapositives)
ACTION DES IONS SUR LE COEUR ISOLE ET PERFUSE DE RAT
(film 8 mm et 4 diapositives)
ACTION DES SUBSTANCES PHARMACODYNAMIQUES SUR LE COEUR DE
RAT ISOLE ET PERFUSE (film 8 mm et 3 diapositives)
LA PRESSION ARTERIELLE CHEZ LE LAPIN (film 8 mm et 4 diapositives)
ACTIVITE ELECTRIQUE DU NERF ISOLE DE BATRACIEN (Sciatique)
(film 8 mm et 4 diapositives).

Ce type de production sera poursuivi et développé. Ces documents destinés au secondaire, bien que simples, devraient être utilisés en Enseignement Supérieur, ce qui n'a pas encore été tenté.

Production de films 8 mm pour l'Enseignement Supérieur :

L'expérience acquise à l'Institut Pédagogique National nous a conduit à réaliser un essai, c'est la Physiologie Animale qui a été choisie en raison de la série des films de travaux pratiques déjà produits dans ce domaine.

Films prototypes de 8 mm:
DESTRUCTION DES CENTRES NERVEUX DE LA GRENOUILLE
DISSECTION DU SCIATIQUE DE GRENOUILLE (2 parties)
DISSECTION DU GASTROCNEMIEN INNERVE DE GRENOUILLE
Conseiller scientifique : Professeur P.H. BENOIT,
Faculté des Sciences, Orsay
Réalisation A. PAILLÉ, G. BOUHOT, C.A.V. - E.N.S.
Versions uniques en 8 mm, couleurs, muettes, réalisées pour
le Congrès International des Physiologistes de Langue Française
Orsay, 1966.

En raison des résultats très encourageants enregistrés lors de la présentation de ces films "en self-service" aux congressistes, cette expérience va être reprise et amplifiée. Après toute erreur de manipulation importante, l'étudiant sera tenu de se projeter le film court correspondant en self-service, pendant la séance de travaux pratiques

Film et Télévision :

Dans une émission de télévision, les séquences de films 16 mm et les films 8 mm servent de base à la réalisation. Ces séquences sont insérées au cours de l'émission :

- soit quand la partie correspondant à la manipulation est trop difficile ou impossible à réaliser en direct,
- soit quand la partie cruciale de l'émission est "ratée" en direct.

La constitution d'une cinémathèque de base est fondamentale. C'est ce que nous avons fait ressortir au IIIe Congrès International de l'Union Européenne de Radiodiffusion sur la Radio et la Télévision Educatives :

LE ROLE DU FILM DANS UNE EMISSION DE TELEVISION

J. VALERIEN, G. BOUHOT, A. PAILLÉ

Communication au IIIe Congrès de l'U.E.R., Paris 8 - 22 mars 1967.

Or, la tendance actuelle en pédagogie dans tous les pays est à l'augmentation des budgets de télévision, au détriment du cinéma. Il s'agit là d'une conception dont les répercussions seront très importantes à long terme : on ne peut faire fonctionner un circuit fermé de télévision sans une documentation de base. Les enquêtes réalisées sur l'emploi des circuits fermés de télévision sont éloquentes à cet égard : si une documentation minimale dans la discipline fait défaut, le circuit reste inutilisé. En outre, le cinéma est très économique par rapport à la télévision (cf. base de la colonne de droite p. 244).

Le film reste donc à notre sens, pour de nombreuses années, la voie d'avenir, quitte à ce que ses images soient retranscrites sur support magnétique, EVR, ou Selecta Vision, ou sur tout autre support dont les techniciens vantent les mérites futurs ... dès que ces procédés auront fait leurs preuves, comme le 16 mm ... qui reste la base de tous ces types d'enregistrements.

5.2./ CIRCUIT FERME DE TELEVISION

5.2.1/ INTRODUCTION

L'expérience passée, la réalisation de films, la participation aux travaux de l'Institut Pédagogique National nous ont conduit à nous intéresser à la télévision utilisée pour l'enseignement, d'abord en circuit ouvert, puis en circuit fermé.

La télévision, au niveau de la réalisation et de la production, est un système très difficile à appréhender. Les émissions réalisées sans moyens ont un impact limité, mais dès que les moyens mis en oeuvre sont importants, le contrôle pédagogique de l'émission par le professeur devient inexistant. Son emploi pose beaucoup de problèmes sur le plan humain : une équipe de réalisation est difficile à former puis à diriger, car la télévision impose le travail de groupe. A ce niveau les conceptions techniques et pédagogiques s'opposent beaucoup plus qu'en cinéma en raison de la rapidité de production. Ce n'est qu'à travers de nombreuses expériences et de très nombreuses discussions que l'on peut arriver à se forger une idée sur l'emploi de la télévision. Notre cheminement a été long, mais nous pensons avec le recul que, grâce à lui, notre opinion repose sur des faits réels.

L'emploi de la télévision pour l'enseignement, tant en circuit ouvert qu'ensuite en circuit fermé, a débuté aux Etats-Unis. C'est l'U.S. Force qui a réalisé pendant plusieurs années les travaux les plus importants.

F. MAEDEN (1957) a fait une bibliographie de 92 articles, des premiers essais étagés de 1951 à 1957, afin de faciliter le démarrage des émissions éducatives à la BBC. La thèse de 3ème cycle de R. LEFRANC (1963) comporte une autre bibliographie analysée de 117 articles. Elle est appuyée sur des enquêtes, et consacrée aux débuts de l'emploi de la télévision dans les Universités aux Etats-Unis. Dans cette thèse est brossé un tableau prospectif de l'utilisation du CF de TV "moyen flexible de communication à partir d'un mécanisme central", exigeant "que soit reconsidérée la totalité du processus de transmission des connaissances", "elle agit alors comme stimulant, elle catalyse les réactions, accélère l'évolution, bouleverse les schémas éducatifs traditionnels, joue un rôle

subversif dans toute la pédagogie" ; "instrument d'investigation et de réflexion sur ses propres fins et moyens, elle offre un nouveau et remarquable moyen d'investigation pédagogique, puissant stimulant des études sur l'éducation".

L. BINET (1962) rapporte le cours inaugural réalisé avec emploi de la télévision en couleur par projection dans un amphithéâtre de médecine. Un premier essai concluant avait été organisé à la Maison du Médecin le 1er octobre 1959, en circuit fermé (Y. BRUNEAU et Coll., 1960).

La première retransmission de télévision en Enseignement Clinique remonterait au 3 janvier 1964 en France (ANONYME, 1964).

A cette époque, en Allemagne, à Munich, fonctionnait déjà un circuit clinique complet comportant une interconnection poussée, permettant de retransmettre aussi bien une opération qu'une endoscopie ou une radioscopie (W.H. HEISS, 1964). G.B. SCOTT (1964) rapporte que dès cette époque en histologie, à Londres, un circuit de télévision hospitalier était couramment utilisé pour retransmettre des expériences ainsi que les images d'un négatoscope et d'un microscope. Mais ces installations sont de petite envergure, comparées à celles utilisées aux USA à la même époque, comprenant même des unités studio sur roulettes (S.A. AGNELLO et Coll., 1965).

Nous avons produit, puis réalisé des émissions pour l'enseignement secondaire à la Radio Télévision Scolaire de 1963 à 1967. Les conceptions ayant fortement évolué au cours de cette période, nous avons ainsi largement pris contact avec les méthodes de réalisation de l'Institut Pédagogique National et surtout avec celles de l'O.R.T.F., tant en direct au début, qu'en différé ensuite (d'abord par enregistrement sur kinescope, puis sur magnétoscope et enfin sur film).

L'épreuve du direct est si "stressante" que, si ce type d'émissions est repris pour l'enseignement télévisé (et il devrait l'être, car, en dehors du direct, la télévision ne se justifie que comme moyen de diffusion et non comme moyen de réalisation), nous suggérons de ne le remettre en place qu'après création d'un corps professoral spécialisé, entraîné, et si possible choisi pour "passer l'écran".

D'autre part, l'équipement "type Education Nationale" devrait être revu en fonction de celui de l'O.R.T.F., un fossé certain existant entre les deux conceptions.

5.2.2/ EXPERIENCES REALISEES DANS LE SEIN DE L'UNIVERSITE. EMPLOI DE LA TELEVISION POUR L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

En 1962 Y.M. GARGOUIL, A. PAILLE et D. GARNIER ont effectué la mise en service d'un circuit de télévision universitaire. Cette expérience est peut-être le premier essai d'envergure de ce type tenté en France :

MISE AU POINT D'UN SYSTEME DE PREPARATION AUX TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIOLOGIE ANIMALE ET DE ZOOLOGIE A LA FACULTE DES SCIENCES DE POITIERS, A L'AIDE D'UN CIRCUIT FERME DE TELEVISION.
Y.M. GARGOUIL, A. PAILLE, D. GARNIER et le Personnel Enseignant des Laboratoires de Physiologie Animale et de Zoologie de la Faculté des Sciences, Poitiers, 1962.

Grâce à cet acquis et aux moyens de production disponibles au Centre Audio-Visuel, a été réalisée en 1964 une importante expérience mettant en cause le circuit fermé de télévision. Une série de conférences préparatoires à la réalisation de travaux pratiques a pu être pleinement illustrée. Cette expérience reste à ce jour en France, une des plus importantes effectuées dans le domaine Scientifique Universitaire.

Les résultats de cet essai sont consignés dans un rapport établi conjointement par le Laboratoire de Physiologie Générale de la Faculté des Sciences d'Orsay et le Centre Audio-Visuel⁺, dont les points essentiels sont résumés ci-dessous.

+ CIRCUIT FERME DE TELEVISION ET ENSEIGNEMENT SUPERIEUR SCIENTIFIQUE :
Une expérience d'illustration des Conférences de Travaux Pratiques réalisée au laboratoire de Physiologie Générale de la Faculté des Sciences d'Orsay.
J. VALERIEN, G. BOUHOT, A. PAILLE, Centre Audio-Visuel, ENS, St-Cloud, Publication CAV, rapport multigraphié R-15, 21 pages.

La plupart des problèmes de l'emploi du circuit fermé de télévision dans l'enseignement supérieur ont été mis en évidence dès cette expérience grâce à 8 émissions de structure différente, s'étendant du direct intégral (son et image) au télécinéma total (diffusion d'un film de travaux pratiques), l'efficacité étant contrôlée par des interviews et un questionnaire :

- problème de la maintenance du réseau, service après-vente,
- nécessité de posséder un circuit complet, comprenant en particulier un lecteur de documents,
- problème de l'accès immédiat à son utilisation,
- temps nécessaire à la préparation de l'émission, incompatible avec le travail de recherche et disproportionné avec le résultat,
- accroissement des problèmes du transport de matériel en amphithéâtre,
- meilleure finition du film comparé à la télévision en direct ou en semi-direct,
- supériorité du commentaire enregistré sur le commentaire improvisé,
- nécessité de rebâtir l'exposé autour des documents visuels disponibles,
- obligation de former le corps enseignant à l'emploi de la télévision,
- problème de la "présence" du pédagogue sur l'écran,
- nécessité des documents d'accompagnement : préconférence, feuilles multigraphiées récapitulatives, films courts de 8 mm pour la salle de travaux pratiques,...
- nécessité de la couleur pour la différenciation des vaisseaux sanguins entre eux et de l'innervation dans le conjonctif.
- L'utilisation du Circuit Fermé de Télévision dans la salle de Travaux Pratiques n'a pas été envisagée lors de cette expérience.

Au point de vue pédagogique certains problèmes sont apparus :

- préférence par les étudiants d'un commentaire enregistré par rapport à un commentaire improvisé,
- préférence, lors de l'interview à la fin d'une émission en direct, de cette formule "C'est meilleur que le film, j'étais au premier rang et je préfère regarder l'écran, surtout dans les détails techniques, c'est nettement mieux de près avec l'écran",
- mais la préférence change après réflexion lors de la réponse au questionnaire : "Je trouve que ce film-là ("La Pression artérielle du

lapin", (diffusé en télécinéma) était meilleur, justement parce que l'expérience et le commentaire du chef de travaux étaient synchrones, et en fait je crois que la préparation en était automatiquement mieux faite",

- de toute façon pour les étudiants, l'image animée (télévision en direct ou télécinéma) n'est préférée que pendant les temps dynamiques de la préparation, et leur semble moins pédagogique que l'exploitation d'images fixes : "J'ai trouvé que c'est très bien comme solution, (l'image fixe), ça nous permet de voir vraiment ce qui se passe, et puis Monsieur MAMBRINI nous montre, et on a le temps de prendre des croquis, je trouve que le film c'était trop rapide"... "Pour les dissections le film est meilleur (que les vues fixes), mais il faudrait pour les moments cruciaux de la manipulation une série d'images fixes"... "Un film c'est beaucoup plus dynamique, mais il y a des moments où on aimerait bien que ça s'arrête",
- l'étudiant semble donc conditionné, préférant, parmi la série des documents diffusés, ceux qui se rapprochent le plus de l'exposé didactique effectué au tableau noir,
- pour l'emploi du cinéma, la nécessité de l'arrêt sur l'image a été très ressentie, et l'utilisation du lecteur de documents pour donner des compléments pendant ces arrêts, très appréciée,
- de ce fait l'emploi de montages sonorisés de diapositives semble à envisager en raison de la préférence marquée des étudiants pour l'image fixe plus facile à analyser,
- l'impact des émissions en direct transmises à partir d'un laboratoire de recherche d'électrophysiologie dont le matériel est intransportable et dont l'accès est limité à 2 ou 3 personnes, est certain, les étudiants n'ayant jamais pu suivre auparavant des expériences de ce genre,
- le film permet de ramener à 3/4 d'heure la présentation des manipulations les plus longues par suppression des temps morts, (ce qui est évidemment impossible en télévision en direct).

Des expériences de ce type devraient être développées afin de délimiter le domaine d'application de la photographie, du cinéma et de la télévision, en fonction des contingences propres aux systèmes, et de leur efficacité respective vis à vis des étudiants.

La formation des enseignants aux moyens audiovisuels est apparue et devrait être menée en parallèle. Un premier film dans cette voie a déjà été réalisé au sein du groupe de Sciences Naturelles :

EXERCICE A UNE ET DEUX CAMERAS

Réalisation : A. PAILLÉ, Centre Audio-Visuel, E.N.S., St-Cloud.
16 mm, couleurs, sonore, optique, 15 mn 1964.

Ce film permet de montrer aux enseignants comment peut être conduite une émission lorsque l'on utilise un Circuit Fermé de Télévision possédant soit une, soit deux caméras, et met en évidence le rôle des plans de coupe dans une émission pédagogique.

Une autre expérience a été tentée ultérieurement dans le même sens, par la formation en action d'enseignants médecins à l'utilisation d'un circuit fermé de télévision complet installé en studio (cf. p 251). Cette expérience s'est révélée très positive. En une vingtaine d'heures, le pédagogue prend conscience des impératifs visuels et sonores liés à la production de l'émission, et entrevoit clairement les problèmes d'illustration. La pratique ne dépend plus dès lors que d'une question de temps et de l'adaptabilité du sujet.

Si l'insertion de la télévision dans la pédagogie est bien préparée, c'est un moyen utilisable. Mais qui l'utilise dans l'enseignement ? Bien que l'on parle beaucoup en France d'Audiovisuel et de TV en CF, peu d'emplois pédagogiques de ces moyens sont publiés dans les revues. Une étude, qui pour ce sujet est déjà ancienne, a été conduite en Sciences Naturelles au Centre Audio-Visuel pour faire le point, plus particulièrement sur l'emploi du Circuit Fermé de Télévision dans l'Enseignement Supérieur Scientifique dans toutes les disciplines :

LES CIRCUITS FERMES DE TELEVISION DANS L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR SCIENTIFIQUE.

A. PAILLÉ, J. VALERIEN, Centre Audio-Visuel, E.N.S., St-Cloud.
Publication C.A.V., R-25, 1965, 1 Vol, multigraphié, 33 pages.

Il ressort de cette étude que le Circuit Fermé de Télévision est surtout utilisé en médecine, mais que les expériences les plus probantes sont conduites à l'Institut des Sciences de l'Ingénieur de Nancy. C'est grâce :

- à la répartition des étudiants en petits groupes : 20 dans l'amphithéâtre, 10 par salle,
- à l'encadrement de chacun de ces groupes par un étudiant de l'année supérieure,
- à la diffusion de l'émission par séquences de 10 mn, débouchant sur un exercice de 10 mn (1 heure au total),
- exercices effectués dans les salles sous le contrôle d'une part des moniteurs (interconnectés bilatéralement avec l'amphithéâtre) et d'autre part du professeur qui visite fréquemment ces salles,

que la télévision en circuit fermé trouve son plein emploi. La structure du bâtiment, des études et des cours a été conçue en vue de son utilisation : le corps professoral a accepté une mutation totale. Cet exemple est rare.

Dans le cadre du Centre Audio-Visuel une nouvelle expérience a été entreprise en 1967 :

UTILISATION DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION POUR LA CONDUITE DE TRAVAUX PRATIQUES DE GEOLOGIE, Faculté des Sciences d'Orsay, Laboratoire du Professeur R. BROUSSE.

Quatre émissions ont été réalisées chaque semaine durant deux années scolaires par l'équipe du laboratoire sous la direction du Professeur R. BROUSSE.

Coordination : J. VALERIEN, G. BOUHOT, A. PAILLÉ.

Rapport en cours d'élaboration.

Ce travail s'est révélé très instructif, en ce qui concerne le problème de l'utilisation des Circuits Fermés de Télévision en noir et blanc. De nombreux Circuits Fermés de Télévision en couleur sont installés en médecine, mais leur coût et les difficultés de maintenance inhérentes à leur fonctionnement les ont généralement fait écarter dans les Facultés des Sciences. Les étudiants, qui au départ ne sont pas familiarisés avec le microscope polarisant, s'adaptent très facilement

à l'interprétation des minéraux en noir et blanc sur les écrans de télévision. Les assistants parviennent au même résultat après accoutumance, car le procédé employé dans la conception des microscopes polarisants conduit à des images d'interférence colorées, observées normalement comme telles. L'emploi du circuit fermé de télévision en couleur ne semble pas indispensable dans ce cas précis avant le niveau 3ème cycle (à ce niveau la couleur ne peut plus être supprimée pour l'interprétation fine). Le circuit de démonstration utilisé pour cette expérience ayant été réintégré au Centre Audio-Visuel, il ne nous a pas été possible de faire doter ce laboratoire de géologie d'un circuit fermé de télévision permanent, afin de poursuivre en détail cette expérimentation. Des demandes de dotation ont été entreprises pour remédier à cet état de fait et achever le travail.

Une expérience importante vient de débiter grâce à un concours extérieur. Elle va être conduite en collaboration avec le Professeur A. LEPRETTE sur le circuit que va acquérir l'Ecole Dentaire de la rue de la Tour d'Auvergne. Le premier travail a consisté à concevoir et définir, au vu des impératifs pédagogiques dégagés des entretiens, le cahier des charges destiné à lancer les appels d'offres. Grâce au matériel prévu et en raison de la motivation du service, nous pensons pouvoir réaliser dans ce service un travail de longue durée et dégager des conclusions d'une portée générale.

C'est l'ensemble de ces activités qui nous a amené à publier une mise au point sur notre opinion au sujet de l'emploi des circuits fermés de télévision pour l'enseignement des Sciences dans les Universités.

Dans cette note, il est fait référence aux nombreux articles que nous avons publiés, aux expériences que nous avons conçues et aux expériences auxquelles nous avons participé dans le domaine de l'Enseignement Secondaire mais qui, ne concernant pas directement les activités de base du Centre Audio-Visuel, n'ont pas été mentionnés au préalable dans l'exposé. L'expérience de l'Ecole Alsacienne à laquelle il est fait allusion, reste, en dehors de celles conduites dans les Collèges d'Enseignement Secondaires Expérimentaux nantis de Circuits Fermés de Télévision, la plus complète réalisée dans ce domaine.

De très nombreuses discussions avec des utilisateurs au cours des journées d'information organisées par l'Institut Pédagogique National, et la participation à de nombreux comités et congrès, nous ont permis d'élargir notre point de vue.

L'étude des contenus des programmes de Sixième, Cinquième et Quatrième, réalisée dans le cadre d'une commission de l'Institut Pédagogique National, en vue de l'utilisation du Circuit Fermé de Télévision est à signaler en raison de son intérêt particulier. La présence du circuit fermé de télévision catalyse la remise en question de la pédagogie de la discipline (détermination des intentions pédagogiques, des contenus, des notions, du vocabulaire, du matériel, de la ventilation des pratiques) et provoque le travail de groupe des enseignants. C'est certainement là son aspect le plus positif, bien que le moins apparent a priori :

DETERMINATION DES CONTENUS D'UNE PROGRESSION POUR UNE CLASSE DE 6ème
Rapport du séminaire de travail pour la préparation des contenus
et leur mise en oeuvre pédagogique en vue d'un enseignement
audiovisuel en Sciences Naturelles (I.P.N. septembre, 1967).
La commission, dont J. VALERIEU, G. BOUHOT, A. PAILLE.
Classe de 5ème, 1968. Classe de 4ème, 1969-1970.

Ces études, effectuées au contact de professeurs utilisateurs de Circuits Fermés de Télévision dans l'enseignement secondaire, nous ont renforcé dans notre point de vue.

Ce point de vue est explicité dans la note :

Emploi des Circuits Fermés de Télévision pour l'Enseignement des Sciences dans les Universités p 239 à 247 ,
publiée dans "AUDIO VISUAL MEDIA, Revue Internationale des Moyens audiovisuels", Vol. 4, n° 2, Eté 1970.

Emploi des Circuits Fermés de Télévision pour l'Enseignement des Sciences dans les Universités

Gerard Bouhot

Docteur de l'Université de Paris.

Maitre Assistant au Centre Audio-Visuel de l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud

De prime abord, il faut souligner que le circuit fermé de télévision n'est qu'un des moyens audio-visuels utilisés dans les facultés des sciences. Le nombre et l'emploi de ces circuits fermés de télévision restent encore limités, c'est le cinéma qui continue d'être le moyen vedette. Cette situation est directement liée au fait que si l'on considère le rapport: travail/efficacité/prix, le circuit fermé de télévision est le plus cher des moyens audio-visuels. Néanmoins la loupe collective ou épiscopes électronique, échappe à cette critique.

Le sujet étant très vaste, nous le traiterons par paragraphes distincts, en liant tout d'abord la conception du circuit au niveau d'intervention et en faisant ressortir les problèmes essentiels qui découlent de l'utilisation du système, puis nous nous intéresserons aux problèmes généraux soulevés par le circuit fermé de télévision. Nous verrons que le circuit fermé de télévision est beaucoup moins contraignant qu'on ne l'affirme généralement.

CONCEPTION DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION ET NIVEAU D'INTERVENTION

Cours

Cours didactique, illustration interne à l'amphithéâtre

Le cours didactique est la forme la plus classique de l'enseignement en facultés. L'insertion des temps de télévision correspond aux expériences de cours. L'appareillage expérimental classique utilisé en amphithéâtre est invisible pour l'ensemble de l'auditoire. Les maisons spécialisées en appareillage scientifique ont mis au point des instruments lisibles (souvent grâce à

l'association avec un rétroprojecteur) pour l'ensemble de l'amphithéâtre. Ceci, particulièrement vrai pour quelques expériences de base en physique ou en chimie, ne l'est plus pour les expériences modernes. Des spécialités comme l'électrophysiologie ne sont pas exploitables par ces voies simples.

C'est dans ce cas que le circuit fermé de télévision intervient, agissant comme loupe collective/épiscopes électronique/lecteur de documents/télélecteur. Le studio et l'amphithéâtre sont confondus. L'expérience est montée sur paillasse, face aux étudiants qui perçoivent l'ensemble de l'installation. Le montage expérimental est explicité point par point par la télévision, puis la caméra est centrée sur l'élément en expérience, et, enfin, sur l'appareillage visualisant les mesures (en général un oscillographe cathodique; avec la télévision il faut signaler qu'aucun problème de stroboscopie ne se pose ce qui n'est pas le cas avec le cinéma).

La présentation, au télélecteur, de documents simples tels qu'une carte de géologie est éminemment facile.

Problèmes

Ils sont très nombreux, néanmoins le son n'en pose aucun, l'amphithéâtre est utilisé acoustiquement comme à l'habitude. Le professeur s'adresse à son auditoire.

Le premier problème majeur consiste à reconstituer le milieu d'expérience en amphithéâtre. Ceci n'est pas toujours possible: fragilité, poids du matériel, problème de blindage électrostatique . . . Néanmoins, chaque fois que le milieu peut être reconstitué en amphithéâtre, l'impact pédagogique qui en découle justifie le travail.

Emploi des Circuits Fermés de Télévision pour l'Enseignement des Sciences dans les Universités 11

Pour réaliser l'expérience, le professeur devra faire appel à l'assistant ou au chercheur spécialiste du domaine considéré, qui, non seulement sera immobilisé pendant la durée du cours, mais aussi pendant les temps de déménagement de l'installation dont il devra assurer le remontage et le réglage.

Au niveau de la fabrication des images, le professeur se trouve en présence de trois solutions :

—ou bien il est un homme d'image et l'expérience peut être retransmise par une ou deux caméras ; il assurera alors seul la retransmission de l'expérience, en général en ayant déterminé au préalable les positions de caméra afin de préinstaller les éclairages (souvent une des caméras restera fixe devant l'instrument de mesure) ; il aura alors à assurer la fabrication de l'image : cadrage, point, diaphragme, montage de bonnette . . . et les explications en cours . . . et éventuellement il devra déplacer la caméra, régler les projecteurs, commuter les caméras . . . c'est "le professeur-homme orchestre" . . . S'il sort vainqueur de son affrontement avec la technique, son prestige, fort justement, sera rehaussé !

—ou bien le professeur commente l'expérience se limitant à son rôle classique ; un assistant, un moniteur, un élève en fin d'études ou un technicien fabrique les images ; l'émission aura été préparée en commun et le responsable de la réalisation devra continuellement s'adapter au déroulement de la démonstration sans jamais imposer sa marque personnelle, c'est-à-dire sans jamais trahir la pédagogie qu'il doit servir ; il ne doit pas déformer le message prévu lors de l'élaboration du sujet ; ceci est plus vite explicité que mis en pratique ; les affrontements qui découlent de cette méthode de travail sont spectaculaires ! et parfois publics, face à l'amphithéâtre . . .

—le professeur a donc un choix de base difficile à réaliser : homme orchestre ou professeur parfois trahi . . . mais, dans ces deux cas, l'émission reste sous sa dépendance.

—une solution plus onéreuse, pédagogiquement très différente, consiste à utiliser un opérateur par caméra (personnel technique éventuellement) et un manipulateur pour l'expérience. Le professeur joue alors le rôle de chef de plateau

Summary

There are numerous problems when an experiment is carried out, televised and transmitted in the same room, but sound is not one of them: the lecturer addresses his audience directly. The lecturer has three main choices of approach. First, he can be responsible for the technical as well as the educational aspects, arranging camera positions, lighting, etc. Second, he can pre-arrange the lecture with a technical assistant who will be responsible for making the pictures. However, mistakes and misunderstandings can easily arise from this method, sometimes during the actual lecture. A third solution, which is more worthy of consideration, is to use a camera operator and a demonstrator for the experiment. The lecturer can then play the role of controller, making his instructions to his assistants an integral part of the lecture.

When the experiment cannot take place in the lecture theatre, the picture is relayed by cable from the laboratory. The lecturer speaks directly to his audience and keeps in touch with the laboratory by means of an intercom. Technical problems can arise if the gaps between buildings are great. The use of walkie-talkies is impractical for several reasons. The lecturer is again faced with a choice of three methods. First, an assistant makes the pictures, one camera is used, and the lecturer has to accept the picture which comes to him. Second, several scientists make several pictures in the laboratory and one of them is responsible for selecting the final one. The lecturer can intervene by intercom more easily than in the former case, but the continuity of his lecture depends on his preliminary co-operation with the person who selects the pictures. Alternatively, the camera crew is mainly technical, the final picture is chosen by a director, and the intervention of the lecturer in scientific terms is impossible.

Another way of using closed circuit television is to have the lecturer in a studio with a limited number of pupils. Experiments carried out using this system do not seem effective unless the pupils are split into groups. The programme is then given in sections and the head of each group replies to the pupils' questions. For purposes of staff economy it is useful to have advanced pupils as group monitors, but this can raise complications in the arrangement of the timetable. The installation of a mobile studio near the lecture theatre minimises the problem of the transfer of material, but poses the problem of the control held by the director as distinct from the professor. A solution which has not yet been fully exploited is the miniaturised studio which can be installed in the lecture theatre or laboratory.

Closed circuit television should be used live. If the programme is recorded the student loses the all important element of suspense and tends to regard it as an inferior type of national network production. The use of film is important. If an experiment does not succeed, the telecine can be put into action and the continuity of the teaching is assured. The general use of closed circuit television supposes the existence of richly stocked scientific film libraries. Unfortunately, this is not so at present.

en sélectionnant les images qu'il désire faire observer. Dès que le professeur est formé à ce type d'utilisation, le commentaire simultané devient facile à réaliser, surtout si les ordres au personnel sont donnés dans le déroulement du commentaire comme partie intégrante. C'est un système luxueux et efficace, demandant une formation certaine, mais assurant le respect le plus parfait de la démarche pédagogique envisagée.

Cours didactique, illustration extérieure à l'amphithéâtre

Lorsque l'expérience ne peut être déplacée, ce sont les caméras qui sont amenées à proximité. L'image est acheminée par câble vers l'amphithéâtre. Le commentaire est effectué en direct devant l'auditoire par le professeur. Celui-ci coordonne l'expérience par un interphone bilatéral le reliant au laboratoire de recherche.

Problèmes

Bien que le déroulement du cours et de l'expérience reste sous la dépendance du professeur, des problèmes de logistique se présentent.

La pose d'un câble vidéo devient nécessaire si la faculté ne possède pas de câblage d'interconnection. Le passage par et entre les toits est nécessaire. Si les intervalles entre bâtiments sont grands, un câble armé auto porteur s'impose. Ce câble, gigantesque antenne, induit des interférences avec le signal qu'il transporte. L'image reçue est plus ou moins moirée. La pose d'un câble d'interphone en parallèle est nécessaire. Un interphone bilatéral sans commutation permet un échange rapide d'idées avec la salle d'expériences. Seule la manoeuvre de la sonnerie d'appel provoque une saute de balayage (de tels problèmes ne peuvent être découverts que par la pratique du circuit fermé de télévision). Les walkie-talkies se révèlent à l'usage peu pratiques. Les communications unilatérales sont lentes, les interférences avec la télévision fréquentes et imprévisibles dépendant de la position des interlocuteurs par rapport aux éléments du circuit fermé. La faible puissance des walkie-talkies classiques est aussi souvent mise en défaut par le blindage que représente la carcasse de ferraille en béton armé des bâtiments modernes (encore un point révélé par l'expérimentation).

Si plusieurs caméras sont utilisées, la sélection d'images a lieu en amont du professeur, ceci afin de limiter la pose des câbles à un câble vidéo. Comme dans le cas précédent, trois solutions sont en balance:

—un maître-assistant, un assistant, un moniteur, ou un élève en cours d'études fabrique l'image; une seule caméra est utilisée, le professeur subit l'image qui lui parvient.

—plusieurs scientifiques produisent plusieurs images dans le laboratoire; l'un d'entre eux est chargé, dans une mini-régie, de sélectionner l'image finale; le professeur par l'interphone peut intervenir plus aisément que dans le cas précédent, mais la continuité de l'action pédagogique dépend avant tout de son entente préalable avec le sélecteur d'image.

—le personnel de prise de vues est plutôt technique, et un réalisateur choisit l'image finale; l'intervention du professeur en termes scientifiques est impossible, les corrections pédagogiques en sont terriblement ralenties; ce système est d'un usage très délicat!

Cours émis à partir d'un studio

Le professeur effectue son cours dans un studio, face à un groupe restreint d'élèves, ou seul. L'image sélectionnée (professeur, tableau, aides audio-visuelles variées, expérience . . .) est acheminée vers le, ou les amphithéâtres, où sont situés les étudiants.

Problèmes

L'émission ne peut plus dépendre du professeur et guère de son entourage. Le personnel image et son constitue une équipe à la disposition de la faculté ou d'un ensemble de laboratoires. Cette équipe doit être rôdée: les caméramans doivent connaître les habitudes du professeur (par exemple sa façon de disposer sur le tableau les éléments importants à conserver), le réalisateur doit avoir assimilé le type d'enseignement pour en maîtriser la diffusion.

Le professeur doit établir son cours dans un esprit de refonte pédagogique totale. L'impact télévisé constant ne s'obtient pas de la même manière que le contact direct d'amphithéâtre. Un groupe restreint d'élèves présents dans le studio lui donne une indication générale sur la façon dont le cours passe et est reçu.

L'insertion d'images expérimentales réalisées dans l'amphithéâtre ou dans les locaux de

Emploi des Circuits Fermés de Télévision pour l'Enseignement des Sciences dans les Universités 13

recherche pose les mêmes problèmes que précédemment, mais ces problèmes se superposent à ceux de la réalisation de l'émission. Le professeur doit garder la haute main sur l'expérimentation, le réalisateur doit s'effacer et ne reprendre le dessus au point de vue visuel qu'après insertion de la séquence expérimentale. Les interférences entre personnel scientifique et technique sont alors inévitables, car l'homme d'image admet très difficilement qu'un non spécialiste se mêle de réalisation.

La liaison son avec l'amphithéâtre doit être particulièrement soignée. Beaucoup d'installations pèchent par la reproduction acoustique. En outre, les baffles doivent être judicieusement installés, pour que, comme avec un poste de télévision, le son paraisse provenir de la bouche du professeur (cet impératif est rarement respecté). Seuls parmi les professeurs ayant une présence en amphithéâtre, certains auront une présence télévisuelle... l'inverse étant rare. Il sera très difficile, dans le sein d'une faculté, de

pouvoir répondre à un tel critère de sélection... et de l'explicitier aux intéressés.

La réception des images doit être plus soignée que dans les cas précédents, toute l'information arrivant par le canal TV, et la télévision n'étant plus réservée seulement aux points forts du cours.

Dans les expériences tentées à l'aide d'un tel système, la réception ne semble efficace que si les groupes d'élèves qui reçoivent l'information sont petits et répartis dans divers locaux. Si un groupe conséquent est rassemblé dans un amphithéâtre, il faut le scinder en sous-groupes. L'émission est alors effectuée par tranches et le chef de groupe répond, entre les séquences, aux questions des élèves. Ce système ainsi conçu revient à un enseignement encadré par petits groupes et est très efficace. Il faut remarquer que l'immobilisation de personnel est très conséquente et que seul le groupe adjoint au professeur peut dialoguer avec lui. Une liaison retour son vers le professeur est parfois prévue, mais elle complique notablement les inter-

Zusammenfassung

Unzählige Probleme existieren, wenn ein Experiment im schuleigenen Fernsehen aufgenommen wird und dann im selben Raum gesehen wird, aber Ton ist es jedenfalls nicht. Der Vortragende hat drei Möglichkeiten. Er kann Verantwortung für technische wie auch pädagogische Gestaltung übernehmen (Kamera, Stellung, Beleuchtung usw.); oder er kann einen technischen Assistenten für die Fernsehproduktion verantwortlich machen, aber hier können oft Schwierigkeiten entstehen, verursacht durch Missverständnisse. Der dritte Weg, der auch erwogen werden soll, ist einen Kameramann und einen Vorführer für das Experiment zu wählen. Der Vortragende kann dann die Rolle des Programmleiters spielen und seine Instruktionen an die Assistenten können einen integralen Teil des Vortrages bilden.

Wenn das Experiment nicht im Vortragssaal stattfinden kann, kann dies am Besten mittels eines Kabels gesendet werden. Der Vortragende spricht direkt seine Zuhörer an und bleibt in Verbindung mit dem Labor mittels eines Interkoms. Technische Probleme können vorkommen, wenn die Distanz zwischen den Gebäuden zu gross ist. Tragbare Funksprachgeräte sind unpraktisch. Wieder hat der Vortragende drei Möglichkeiten. Die erste, dass ein Assistent die Aufnahmen macht, aber die müssen dann vom Vortragenden angenommen werden, wie sie auch ausfallen; die zweite, dass mehrere Wissenschaftler Aufnahmen nehmen, und der Vortragende kann dann die Beste benutzen, aber er kann durch Interkom diesen Vorgang kontrollieren, doch

hängt der Verlauf des Vortrages von der Zusammenarbeit während der Vorbereitungen ab. Die dritte Möglichkeit hingegen ist, dass das Kamerateam rein technisch ist, das gesendete Bild wird vom Direktor gewählt und die wissenschaftliche Intervention des Vortragenden ist unmöglich.

Die einzige andere Möglichkeit ist, den Vortragenden im Studio zu haben, mit einer kleinen Gruppe von Studenten. Experimente, die dieses System untersuchten, zeigten, dass dies nur möglich sei, wenn die Schüler in Gruppen geteilt wurden. Das Programm ist dann in Abschnitte geteilt und der Leiter jeder Gruppe kann dann Studentenfragen beantworten, obwohl auch fortgeschrittene Studenten als Diskussionsleiter fungieren können. Dies ist in straffen Stundenplänen schwierig. Die Einrichtung eines mobilen Studios in der Nähe des Vortragssaales verringert die Transferierungsschwierigkeiten, aber bringt das Problem der Kontrolle mit sich (Direktor oder Professor). Eine andere Lösung die noch nicht voll bewertet wurde ist ein Miniatures Studio, dass im Vortragssaal oder Labor eingerichtet wurde.

Schuleigenes Fernsehen soll unmittelbar sein. Wenn das Programm aufgespeichert ist, verliert es spontane Ungezwungenheit, und ist ein zweitklassiges Sendeprogramm. Filmbenutzung ist wichtig. Wenn ein Experiment misslingt, kann die Telekina eingesetzt werden und Fortsetzung ist gesichert. Die allgemeine Benutzung des CCTVs setzt eine reichlich versorgte Filmbibliothek voraus. Leider ist das gegenwärtig nicht der Fall.

connections. Une économie notoire de personnel est réalisée lorsque les responsables de groupes sont des élèves plus avancés dans leurs études que les étudiants considérés. Un aménagement d'horaire très compliqué, est alors nécessaire, pour que l'encadrement des groupes puisse être assuré sur des cycles d'études dont la durée peut atteindre ou dépasser 4 ans.

Si, dans la solution choisie, les étudiants ne sont pas encadrés, il faut prévoir le problème discipline, qui dans ce cas n'est pas l'un des moindres.

Dédoubllement de cours

Un cours est professé dans un amphithéâtre équipé de caméras. Les images sélectionnées dans l'amphithéâtre ou dans une régie adjacente sont envoyées vers d'autres locaux.

Problèmes

Ils sont essentiellement les mêmes: la réalisation de l'émission est assurée par un personnel technique d'image, la réalisation des expériences par l'entourage du professeur, la réception doit être assurée en petits groupes encadrés . . . or le dédoublement est généralement prévu pour pallier le manque de personnel enseignant, d'où le décalage important entre le but recherché et l'effet atteint. Vu sous cet angle, qui est le seul généralement envisagé, en particulier par la corporation des enseignants, le circuit fermé de télévision ne saurait être un palliatif.

—Si ce système est utilisé, seul le corps professoral peut être restreint, celui des assistants et des responsables de groupes doit être très étoffé.

—Dans cette situation, le professeur est encore moins conscient que dans le cas précédent, du message délivré à l'extérieur de l'amphithéâtre dans lequel il professe.

Solutions connexes

Afin de limiter les problèmes matériels, diverses solutions ont été envisagées:

Studio mobile. Installé près de l'amphithéâtre ou du laboratoire, il minimise le transbordement de matériel, mais pose le problème de la régie obligatoirement tenue par un réalisateur distinct du professeur.

Une solution plus radicale, qui ne semble pas encore avoir été prônée, est le studio miniaturisé mobile installable dans l'amphithéâtre et dans le laboratoire. Dépendant du professeur et de

son équipe, deux installations de ce type peuvent permettre l'illustration aisée de cours dans diverses disciplines. C'est une voie à explorer.

Câblage. Un câblage préexistant dans une faculté peut permettre de transformer tout laboratoire en studio et toute salle en pièce de réception. Ce système, souvent réalisé, représente néanmoins un engagement financier peu défendable.

Liaisons hertziennes. Elles permettent de joindre des bâtiments plus éloignés, mais leur maintenance risque de dépasser les possibilités d'une faculté.

Solution autoritaire

Elle dépasse le cadre du circuit fermé de télévision, mais le remplace. Un corps professoral national réalise des émissions qui sont transmises sur les ondes à heure fixe, vers des centres de réception. . . . Beaucoup d'habitudes à changer. . . . Du personnel et des méthodes à former. . . . Et néanmoins la nécessité d'un corps d'encadrement à la réception.

Travaux Pratiques

Le problème est plus simple. Le circuit fermé de télévision sert de loupe collective, qu'il soit installé en amphithéâtre, dans le laboratoire, ou dans la salle de travaux pratiques.

Exposés séparés des manipulations

Lorsque la manipulation est transportable, elle est effectuée et retransmise en amphithéâtre (c.f. problèmes posés par ce type d'illustration en cours).

Lorsque la manipulation ne peut être déplacée de la salle de travail, les images sont effectuées sur place, et envoyées vers l'amphithéâtre (c.f. problèmes posés par ce type d'illustration en cours).

Dans les deux cas, une solution radicale est trouvée au douloureux problème de l'illustration de la manipulation.

Exposés précédant ou accompagnant les manipulations

La retransmission est effectuée dans la salle de manipulation (c.f. problèmes posés par ce type d'illustration en cours).

Tout aussi efficace que pour les exposés séparés, cette solution présente en outre deux gros avantages. La transmission peut être effectuée par tranches au cours de la séance, et des exemples positifs ou négatifs de manipula-

tions d'étudiants peuvent servir à renforcer l'intervention pédagogique.

Travaux Dirigés

Leur nature les rattache, soit au cours, soit aux travaux pratiques, et les problèmes sont les mêmes.

Il faut remarquer que la fréquence et la durée de ces séances peut, dans les disciplines très visuelles, conduire à de nombreuses heures d'émission, donc à une immobilisation importante de personnel.

Autocorrection, apprentissage de techniques

Ces applications balbutiantes font appel à un matériel très restreint et localisé. Une fois le programme conçu et enregistré sur magnétoscope, son exploitation peut être conduite par un technicien ou par l'étudiant lui-même. Seuls les contrôles et le perfectionnement du programme nécessitent l'intervention d'un membre du corps enseignant (de niveau varié en fonction de l'insertion de l'apprentissage considéré).

C'est néanmoins dans ce domaine de l'apprentissage que l'affrontement entre le circuit fermé de télévision et le cinéma en cassette est plus direct. . . . L'autocorrection, elle, reste totalement du domaine du circuit fermé de télévision.

PROBLEMES D'UTILISATION DE CIRCUIT FERME DE TELEVISION

Aspects Négatifs

Direct et différé

L'utilisation d'un circuit fermé de télévision impose le direct. Si une émission est passée en différé, ses défauts se trouvent exacerbés, car l'étudiant, qui ne vit plus le suspense, y voit un sous-produit par comparaison aux émissions produites par l'ORTF. Et rarement un enseignant goûte la rediffusion d'une émission de télévision en circuit fermé qu'il a produite.

En différé, seul le film, produit fini, élaboré, est défendable.

Contingences du direct

Parfois le temps fort de l'expérience ne peut être obtenu au moment désiré en présence des caméras. Le film est alors la mine de séquences

fortes. Dans un télécinéma, est installé le passage clef de l'expérience qui est réalisée en direct (ceci suppose que le professeur soit bien au courant des possibilités que lui offrent les cinémathèques scientifiques). Si l'expérience ne réussit pas, le télécinéma est enclenché et la continuité pédagogique est assurée pour les étudiants..

Tout usage généralisé de circuit fermé de télévision suppose donc l'existence préalable de cinémathèques scientifiques très riches en documents. Ce n'est pas le cas actuellement. De plus, la production de films courts de 3 à 5 minutes, en 16 mm ou en 8 mm, centrés sur une seule idée, et traités en plan-séquence, avec surcharge d'animation, n'en est qu'à son balbutiement pour le secondaire et inexistant pour l'enseignement supérieur. Or de tels documents seront les clefs de voûte des émissions futures. . . .

Au passage, signalons que la possibilité souvent évoquée de montage de séquences par le professeur, afin de réaliser un film conçu à sa convenance, ne relève que du domaine de l'utopie fallacieuse . . . le coût et les problèmes d'établissement d'extraits de copies sont énormes . . . le montage de bande de magnétoscope peu réalisable.

On pourrait aussi envisager de magnétoscooper, au cours d'une répétition, les séquences clefs de l'émission. Ceci suppose un circuit très équipé . . . et un nombre d'heures de préparation redhibitoire. Quitte à consacrer autant de temps à la préparation d'une émission, il vaut mieux en prévoir le double, et réaliser un film qui, lui, sera projetable pendant des années. Parfois, même des tournages parallèles permettent de réaliser des films semblables établis pour des niveaux différents, car l'adaptation à un autre niveau d'un document prévu pour un certain niveau est très délicate. Malgré l'évolution du savoir, un film peut être exploité environ 10 ans. C'est un moyen économique: 'La Structure de la Cellule', film en 35 mm. édité en 16 mm. couleur, revient en 1970 après 6 ans d'exploitation, à 10 centimes par étudiant (seulement le prix d'une feuille photocopiée) et sa carrière continue. La construction d'une cinémathèque de base peut être accélérée par l'adaptation de documents étrangers et l'échange de docu-

ments avec les différents centres nationaux. Faute de crédits, ces deux possibilités sont actuellement sous employées. Il faut remarquer au passage que, pour les deux procédés révolutionnaires de diffusion EVR et Sélecta Vision, le film restera la base de fabrication des documents. L'émission de télévision en direct une fois diffusée est *envolée*. Sa préparation annuelle redemande chaque fois autant de temps . . . et son enregistrement et son stockage sous forme de bandes de magnétoscope: à raison de 300 francs les 30 minutes, n'est pas envisageable. Une copie de film en 16 mm. noir et blanc, de la même durée revenant à 250 francs et en couleur à 500 francs, le film pouvant être diffusé environ 100 fois et la bande de magnétoscope environ 50 fois! en EVR en noir et blanc à environ 100 francs! et en Sélecta Vision en couleur à environ 30 francs!

Contingences visuelles du circuit fermé de télévision

Le circuit fermé de télévision fait subir aux élèves autant d'images inutiles que d'images significantes. Tous les réglages: point, cadrage, mise en place de bonnettes . . . sont perceptibles sur l'écran lorsqu'une seule caméra est utilisée. Avec deux caméras, la deuxième sert seulement à boucher les *blancs*, car la durée de l'expérience en télévision en direct ne peut être reproduite qu'en continuité (pensez au pauvre journaliste qui en direct doit meubler ne serait-ce que 3 minutes!).

Le temps et le circuit fermé de télévision

Nous venons de voir que l'expérience se déroule devant la caméra en continuité et généralement avec lenteur. Les réalisateurs d'émissions sont donc obligés de prévoir des inserts pour boucher les trous. Ces inserts ont souvent un impact très secondaire.

Les retours en arrière sont impossibles. Pour remonter une action, il faut l'effectuer à l'envers, puis la recommencer, d'où un temps mort important . . . et encore ceci n'est-il possible qu'avec certaines expériences . . . pas avec une dissection.

La télévision ne permet pas le chevauchement dans le temps. Un bouton est dévissé, le cadre change, le plateau principal est entraîné par le galet de commande. La télévision n'a pas permis de saisir directement la conséquence de l'action.

Il aurait fallu un retour en arrière au milieu de l'action.

En cinéma: l'opérateur commence à dévisser le bouton, changement de plan, le plateau descend, vient en contact avec le galet et est entraîné. . . . Les ellipses de temps (tous les réglages passent inaperçus aux spectateurs) et les chevauchements de temps propres au cinéma lui assurent un avantage certain sur les émissions télévisées pédagogiques effectuées en direct; le direct étant le seul point positif à porter dans ce cas au crédit du circuit fermé de télévision.

Couleur

Bien que les dessins scientifiques soient effectués en général en noir et blanc, et que cette abstraction fasse partie du conditionnement des étudiants, la couleur serait parfois fort utile . . . par exemple pour la reproduction des tons d'un chromatogramme, en spectroscopie, en analyse qualitative. Néanmoins les étudiants arrivent à s'accoutumer au noir et blanc comme le prouve une expérience tentée en pétrographie au microscope polarisant et en chirurgie générale.

Les circuits couleur actuels, dont la maintenance est trop complexe, sont généralement inemployés là où ils sont installés . . . parfois, pour une démonstration officielle, les responsables d'une faculté ne vont-ils pas jusqu'à faire venir le spécialiste de Paris pour faire fonctionner le réseau le jour de l'émission!

Locaux

La disposition et l'insonorisation des locaux existants ne sont souvent pas prévues pour le circuit fermé de télévision. Même aménagés, de tels locaux ne font que d'assez mauvaises salles de télévision.

Que dire de l'installation généralement aberrante des récepteurs, dans une salle où les tableaux et les écrans conventionnels doivent rester visibles!

Lorsque les locaux sont prévus d'emblée pour l'usage du circuit fermé de télévision, ce type de problème ne se pose pas.

Quant aux techniques de projection de l'image de télévision, elles sont ou trop complexes, ou de qualité insuffisante. Néanmoins, dans ce domaine, de nouvelles techniques sont en cours de développement.

Emploi des Circuits Fermés de Télévision pour l'Enseignement des Sciences dans les Universités 17

Problèmes liés à la structure de l'enseignement supérieur

Maintenance. Il est rare qu'une faculté fasse les frais du personnel spécialisé nécessaire. Un réseau de télévision a pu rester ainsi sous tension quatre mois sans interruption et sans utilisation! La qualité du réseau et sa facilité d'emploi pâtissent de l'absence de maintenance... et les émissions restent épisodiques, constituent des documents pointillistes sans action pédagogique à long terme, sans coordination disciplinaire et encore plus sans coordination interdisciplinaire!

Signalons aussi les erreurs de conception. Le circuit de télévision d'une grande faculté est commun à tous les utilisateurs du groupe de bâtiments, mais les objectifs sont la propriété de chaque laboratoire... peur des vols? peut être! mais équipement aberrant. Les sommes dépensées par chaque laboratoire auraient permis l'acquisition d'optiques très onéreuses, mais d'emploi rapide.

La thèse. Assistants et Maîtres Assistants des facultés sont très peu coopérants pour la télévision. Pour $\frac{1}{2}$ heure d'émission en direct avec expérimentation, il faut prévoir au moins 10 à 20 heures de préparation, soit deux à trois jours ouvrables perdus pour la thèse. Ceci est vraisemblablement le problème majeur concernant l'emploi des circuits fermés de télévision en faculté.

Formation visuelle. Tant les étudiants que les membres du corps enseignant doivent être familiarisés avec les problèmes de l'image: en photographie et cinématographie normales et spécialisées, et en télévision.

Les étudiants doivent apprendre à recevoir un message, les enseignants à le concevoir et à le réaliser. Un service d'enseignement de l'image devrait être créé dans chaque faculté, son rôle étant double: d'une part apprentissage, d'autre part coordination de l'emploi dans l'enseignement des moyens audio-visuels, en particulier du circuit fermé de télévision. En quelques années, le problème de réalisation d'une émission ferait partie de la routine.

Aspects Positifs

Mise en action

Le circuit fermé de télévision peut être utilisé rapidement, car les écrans sont observés en

ambiance claire. L'amphithéâtre n'a pas à être obscurci ou à rester obscurci pour une intervention de télévision qui peut ainsi être réduite à quelques minutes sans perturber le déroulement de l'enseignement.

Adaptation

L'émission étant effectuée devant les étudiants, la vitesse de l'exposé peut être adaptée à leur rapidité de compréhension. Ceci est un avantage sur le film de longue durée, dont on ne peut faire varier le déroulement (les films courts échappant à ce problème).

Visualisation

Un manipulateur expert peut passer, en quelques instants, grâce aux objectifs à focale variable (coefficient 10 à 20), du plan d'ensemble au gros plan et au très gros plan. La télémacrovision et la télémicrovision font partie des techniques faciles à assimiler. Les observations dans l'obscurité totale en infra-rouge sont presque un jeu d'enfant.

Analyse, surimpression, incrustation

Ces procédés simples permettent une exploitation élaborée des documents visuels.

Passage du réel au schéma

Cette démarche, particularité de l'esprit scientifique, est directement applicable grâce à un télélecteur spécialement conçu.

Le document est présenté à l'étudiant, qui en général ne peut l'analyser. Le schéma guide sa compréhension. L'effacement de l'image réelle aide à mémoriser le schéma. L'image réelle revient, le schéma s'efface, les éléments de l'analyse deviennent évidents! (cette démarche est très utilisée au Centre Audio-Visuel de l'Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud dans les films scientifiques).

Montage simples

Des découpes, l'usage de filtres et d'éléments de même couleur ou de couleur complémentaire, des miroirs, des prismes... permettent de réaliser des montages visuels simples, mais très efficaces. Les animations sur fond noir sont particulièrement faciles à effectuer. Néanmoins tout ceci suppose une forte initiation à l'usage des techniques audio-visuelles (car, à côté de la télévision, il ne faut pas négliger par exemple le rétroprojecteur) et une forte abnégation des enseignants.

PROBLEMES PEDAGOGIQUES LIES A L'EMPLOI DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION

Un aménagement général des cours est nécessaire à l'insertion des temps de télévision, et oblige à repenser au moins partiellement l'enseignement. Le moment de l'intervention doit être choisi avec circonspection. Pour chacun de ces temps, le message est adapté et 'moulé' aux possibilités de l'appareillage. Le sujet d'un temps télévision doit être délimité, conçu avec rigueur à l'aide de documents simples, lisibles et justifiés. Le canal télévision univoque ne permet pas le dialogue et n'autorise que des actions limitées au sein d'un cours. Souvent des documents d'accompagnement sont nécessaires.

Dans le cas de la préparation avec un réalisateur, toutes les intentions pédagogiques doivent être expliquées pour éviter la distorsion du message lors de la diffusion.

Un des apports essentiels du circuit fermé de télévision, qui n'apparaît pas tout en premier, est l'obligation de travailler en équipe, parfois même à l'échelle de plusieurs spécialités. Les apports communs et les contacts personnels qui en découlent sont un stimulant apprécié des pédagogues.

PROSPECTIVE

Dans quelques années, le circuit fermé de télévision, après formation à l'image des étudiants et du corps professoral, deviendra un outil merveilleux, surtout lorsqu'une cinémathèque de base, comprenant avant tout des films courts, aura été constituée. Pour l'instant le film reste à favoriser, car c'est un moyen très efficace en lui même et fournissant les bases des émissions en circuit fermé de télévision.

Néanmoins le circuit fermé de télévision ne restera qu'un des moyens audio-visuels, et tout l'éventail de ces moyens doit être utilisé dans un esprit de réforme.

Parallèlement aux moyens actuels, se développeront des techniques essentiellement axées vers la diffusion, telles que l'EVR et surtout la Sélecta Vision. Les cassettes de ces systèmes permettront le libre service, la rediffusion, la multiplicité des séances de groupe. L'informatique aidera à la diffusion des documents par

fichiers personnalisés auprès des professeurs, des maîtres-assistants, des assistants. Elle aidera aussi à la rotation des stocks qui devront être situés le plus près possible du lieu d'utilisation.

Pour conclure, disons que, le circuit fermé de télévision, permet, au prix d'une qualité généralement discutable, de présenter dans une ambiance éclairée des images en noir et blanc d'une action pédagogique dont le déroulement est reproduit en direct dans la continuité, et dont le temps d'exposition est adaptable à l'auditoire.

Il semble qu'avant de généraliser ce moyen, il faudrait :

- outiller les cinémathèques en copies, en moyens de projection et en crédits de documentation et de routage;

- augmenter les capacités des centres de production de films, et créer un pull national pour le prêt, aux organismes de production, de matériel spécialisé avec ou sans technicien (caméra haute-vitesse, flash stroboscopique...);

- favoriser la production d'actualités scientifiques formant la frontière recherche/enseignement spécialisé;

- créer dans les facultés scientifiques un enseignement de l'image... ceci pour le prix annuel d'un seul circuit fermé de télévision avec interconnexions.

Cette infrastructure créée, le circuit fermé de télévision trouverait son plein emploi pédagogique dans les Facultés.

(+)

Notre conception actuelle au sujet des Circuits Fermés de Télévision de taille importante, exprimée dans cet article, est peut-être pessimiste et parfois dure, mais elle est étayée sur leur emploi en situation universitaire, emploi qui révèle des "surprises" en tous genres.

Par contre, l'utilisation des petits Circuits Fermés de Télévision, limités à la forme de "loupes collectives", se révèle déjà très bénéfique. La généralisation de ces circuits ne devrait pas tarder, car ils peuvent être les moteurs d'une mutation pédagogique.

Une utilisation coordonnée des différents types de circuits fermés de télévision, ainsi que des expériences d'envergure les mettant en cause, restent à concevoir et à conduire dans l'Enseignement Scientifique Français au niveau Universitaire.

Dans la conclusion de cet article, nous nous prononçons totalement en faveur du cinéma scientifique :

- afin que soit créée une cinémathèque de documents,
- pendant que les étudiants recevraient un enseignement de l'image.

Nous croyons que c'est une solution raisonnable et efficace ... les circuits fermés de télévision pourront alors être généralisés et mis en oeuvre par un corps professoral apte à les manier.

5.3/ FORMATION DES ETUDIANTS A L'EMPLOI

DES MOYENS AUDIOVISUELS

Les nombreuses interventions que le groupe de Sciences Naturelles du Centre Audio-Visuel est amené à fournir, lors des réunions organisées par l'Institut Pédagogique National, sont dues au manque de formation des professeurs.

Les enseignants Audiovisuels sont recrutés au hasard des circonstances et sont très peu nombreux. Or, de plus en plus, des spécialistes en Audiovisuel sont requis dans l'Enseignement.

Un groupe de professeurs producteurs d'émissions télévisées en circuit ouvert ou fermé, ou de professeurs concepteurs de films sonores 16 mm, de films muets 8 mm, de documents sonores, ou capables de sélectionner des documents en vue de leur agrément, est difficile à constituer. Ce sont toujours les mêmes spécialistes qui sont confrontés.

La formation des formateurs est assurée en Audiovisuel par le Centre Audio-Visuel, grâce au Stage de Formation d'Educateurs Spécialistes des Techniques Audiovisuelles. Mais ce stage ne reçoit que 40 stagiaires par an, détachés de leur poste d'origine. Il ne s'agit pas d'un enseignement de masse. De plus, le recrutement pluridisciplinaire complique énormément la tâche du Directeur du Stage, qui devrait pouvoir satisfaire des besoins hétéroclites : de la psychologie de l'enfant inadapté, à la prise de vue cinématographique par dissection d'image...

Nos collègues professeurs de Sciences Naturelles ressentent terriblement le manque de formation aux techniques audiovisuelles dès qu'ils sont confrontés avec l'enseignement en situation scolaire. Ils voudraient réaliser des photomacrographies et des photomicrographies, mais personne ne leur a appris ces techniques, or les livres traitant de ces sujets sont inexistants en langue française. C'est ainsi que les rédacteurs du bulletin de l'Association des Professeurs de Biologie et de Géologie, sont conduits à publier des études spécialisées, telles que :

POURQUOI AUTANT DE SYSTEMES DE MESURE TTL DANS LES APPAREILS
REFLEX DE PETIT FORMAT
G. BOUHOT - Bulletin de l'Association des Professeurs de
Biologie et de Géologie, 1968, 3, p 260, Recherche CAV 68/B2.

Grâce à une chronique suivie, ils voudraient pallier l'absence d'information dans les domaines cruciaux. Mais le manque de spécialistes les en empêche.

Des études comme :

RAPPORT SUR LE MAMYIA SEKOR 1000 DTL UTILISE EN PHOTOMACROGRAPHIE.
G. BOUHOT - Juin 1968 - Recherche C.A.V. 68/B1.

RAPPORT SUR LE DISPOSITIF ORTHOMAT LEITZ.
G. BOUHOT - Mars 1968 - Recherche C.A.V. 68/B4.

devraient pouvoir être élargies, généralisées et diffusées dans l'Université.

Les professeurs en activité désirent approfondir leur connaissance des moyens audiovisuels, mais les informateurs spécialisés sont rares. Une formation de base entreprise dès l'Université pourrait pallier en quelques années cette carence.

D'autre part la formation des étudiants à l'emploi du Circuit Fermé de Télévision devrait débiter avant la vie professionnelle. L'essai tenté avec deux médecins montre que la formation de base est relativement vite acquise, mais que le temps nécessaire est peu compatible avec les charges d'enseignement :

Initiation au CF de TV d'enseignants universitaires du CHU St-Antoine. Réalisation de l'émission "Hypertension".
Docteurs : C. FORESTIER, R. TROUGNIOU.
G. BOUJOT, A. PAILLÉ, J. VALERIEN - Emission enregistrée au studio de l'I.P.N. et diffusée au CHU St-Antoine, 1968.

Les expériences tentées avec les stagiaires du Centre Audio-Visuel pour lesquels les problèmes de temps ne se posent pas, montrent que l'on peut atteindre d'excellents résultats, lorsque la formation est étendue sur la durée adéquate à l'individu, fonction de ses connaissances initiales. Ainsi une stagiaire 1969-1970 a réalisé des

émissions pour le Collège d'Enseignement Secondaire expérimental de Marly. Malgré les difficultés qu'elle a rencontrées pour réaliser le montage d'images de cinémathèque (car les directeurs de ces établissements ne prêtent pas de films, s'ils se doutent que des extraits vont en être exploités en télévision), les émissions qu'elle a produites sont de très bonne facture, bien conçues visuellement et leur exploitation en situation scolaire s'est révélée positive :

Réalisation d'une émission de motivation et d'une émission d'information sur "Les Migrations", sous le contrôle des membres de la commission Marly de l'Institut Pédagogique National par M. RIOU, Professeur Certifié de Sciences Naturelles, Emissions enregistrées en 1970 au studio de l'I.P.N. en vue de leur exploitation en 1970/1971 au C.E.S. Expérimental de Marly.

Au niveau des étudiants, les besoins de formation sont donc très divers. Les activités devraient être divisées en deux grands secteurs. Un laboratoire Audiovisuel dans une faculté assurerait :

- l'animation d'un service général permettant à un groupe de laboratoires d'utiliser un circuit fermé de télévision,
- et l'enseignement de "l'image et du son" auprès des étudiants, tout en coordonnant des recherches.

Les mémoires entrepris dans ce sens par des stagiaires du Centre Audio-Visuel sous notre direction en 1969/1970 montrent l'adaptabilité des professeurs du secondaire à ce genre de travail (M. CHARPENET, 1970 ; J. MIRA, 1970 ; R. ROGER, 1970 ; F. SAMOUËLIAN, 1970). Dans le cadre d'une faculté, la gamme des travaux de recherche possibles serait beaucoup plus étendue, ne serait-ce qu'en développant les idées citées dans ce travail.

Les étudiants formés seraient plus aptes à réaliser les documents qui leur sont nécessaires pour l'illustration des travaux de recherche : photomacrographies, photomicrographies, clichés en rayons X, en infra-rouge ... puis à les développer, à les agrandir, à les mettre en forme pour l'édition. Mais aussi, ils seraient plus aptes à comprendre et à juger les documents mis à leur disposition. Pour comprendre un

cliché pris en perspective sphérique, il est indispensable d'en avoir effectué en travaux pratiques. L'introduction de techniques de tirage simples : paraglyphes, "solarisation", tone line process, ... ou plus complexes : tirage LogElectronics, filtrage optique ... permettrait souvent d'améliorer la qualité des épreuves.

L'enseignement Audiovisuel sensu largo est déjà réalisé couramment dans les pays Anglophones, nous terminerons en citant en exemple quelques articles qui montrent le fossé que la France, qui connut beaucoup de novateurs en photographie et en chronophotographie, se doit de combler :

- E. LUECY (1955) pose les bases nécessaires à la conception d'un laboratoire de "l'image" dans une unité de recherche,
- R.K. Mc RAE (1964) introduit l'utilisation du 8 mm dans l'enseignement au niveau d'un département,
- W.D. TREDINNICK et P. CULL (1965) exposent les problèmes inhérents à l'organisation d'un service d'illustration photo et cinéma de très grande taille, et à la formation de son personnel,
- Z. PRESSMAN (1967) décrit le laboratoire de l'Institut de Recherche de Stanford, dont l'enseignement spécialisé fait rêver en France, mais correspond à une formation nécessaire des chercheurs : latensification, cinéma haute vitesse, cinéma sous-aquatique haute vitesse en stéréoscopie, photomacrostéréographie, photomicrographie, cinémicrographie, surveillance des fours à induction, photographie des ondes de chocs, illumination laser à la nanoseconde, étude de la propagation des explosions, utilisation des caméras à dissection d'image, rétinographie, éclairage de Schlieren, stéréophotographie en rayons X sous 10^5 volts, etc,
- Or, de tels laboratoires sont possibles en Europe : il suffit de visiter à Munich le Technikum Agfa Gevaert, qui peut servir de modèle pour l'Enseignement Supérieur (G. BOUHOT, 1970),
- F. HAWKINS et D.P. HAMMERSLEY (1966) poussent plus loin l'enseignement, en apprenant aux étudiants à concevoir et à présenter une note en congrès,

- D.P. HAMMERSLEY (1964), dans une première note, s'était limité à la conception d'une illustration en fonction de l'idée à défendre,
- D.G. MACKEAN (1966) présente de remarquables idées d'illustrations choes destinées à l'enseignement de la biologie,
- L.N. STANILAND (1966) apprend à dessiner aux étudiants par une méthode originale, en 5 jours,
- C.H. BARNETT et Coll. (1968) vont jusqu'à donner un cours sur le symbolisme des ombres,
- A.A. BLAKER (1965) et C.E. ENGEL (1968) ont conçu tous deux un enseignement très complet de la photographie à l'usage des scientifiques. leurs publications sont des ouvrages de base.

Souhaitons qu'un jour l'étudiant Scientifique Français soit en mesure de recevoir des cours de ce genre. La réforme de l'Université et le besoin de renouveler la pédagogie devraient faciliter cette mutation.

6/ BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

Remarques :

- Les bibliographies particulières à chaque article encarté n'ont pas été répétées ici, non plus que les bibliographies complètes rappelées dans le texte.
- L'ensemble des activités de l'Equipe de Sciences Naturelles (G. BOUHOT, J. VALERIEN, A. PATILÉ) jusqu'au 24 OCTOBRE 1969, est présenté dans une brochure publiée au CAV : Bilan des Travaux de l'Equipe de Sciences Naturelles, G. BOUHOT, 1 Volume, 93 pages, multiographié, 1969.
- La bibliographie comprend également des films classés alphabétiquement par le premier mot de leur titre.

6.1/ PHOTOGRAPHIE ET CINEMA DE RECHERCHE

- BLERY, G. CROTTE, P., DUC, M., LEGAY, J. et SEUBE, P. (1969) : Présence de la Photographie. Edition Kodak Pathé, Paris. 1 Vol, 74 pages.
- BOHME, W. (1939) : Über Röntgenzeitdehnung, ihre Ermöglichung und Verwertung. Forstchr. Röntgenstr., 60, Kongressheft, 61.
- BOUHOT, G. (1968) : Un siècle de Microphotographie. Photo, n° 8, 34.
- BOULY, G. (1892) : Brevet Français n° 219.350, 12 Février.
- BRAUS, H. (1911) : Mikro-Kino-Projektionen von in-vitro gezüchteten Organanlagen. Verh. Ges. dtsh. Naturf. Artzt., 83.
- BULL, L. (1958) : The origin and early development of High Speed Cinematography. Science and Film, 7 n° 2, 26.
- BURGERS, W.G., et AMSTEL, P.V. (1937) : Electronoptical Observations of Metal Surfaces. Physica, Eindhoven, 4, 5 et 16.
- CANTI, R.G. (1928) : Cinematograph Demonstration of Living Tissue Cells in vitro. Arch. exp. Zellforsch., 6, 86.
- CERAM, W. (1966) : Archéologie du Cinéma. Edition Plon, Paris, 1 Vol, 263 pages.
- CHEVRETON, L. (1909) : Dispositif pour les instantanés et la chronophotographie microscopique. C.R. Soc. Biol., Paris, 56, 340.
- COMANDON, J. (1909) : Cinématographie, à l'ultramicroscope des microbes vivants et des particules mobiles. C.R. Acad. Sci. Paris, 149, 938.
- DESLANDES, J. (1966) : Histoire Comparée du Cinéma. Edition Casterman, Tournai, Vol I, 329 pages.
- DRAGESCO, J. (1952) : Cinematography in France. Science and Film, 1 n° 3, 17.
- FONBRUNE, P. de (1935) : Observations sur une amibe (Acanthamoeba). C.R. 9ème Réun. Physiol. Paris, 473.

FRANK, O (1936) : Herstellung von stereoskopischen kinematographischen Aufnahmen. Z. Biol., 97, 427.

FRIESE-GREENE, W. (1889) : British Patent n° 10.131, 21 juin.

GEOFFROY, G. (1962) : Evolution du Film Français de Sciences Naturelles. Mémoire CAV, ENS, St-Cloud, 1 Vol dactylographié n° 400.524, 127 pages.

GERNSHEIM, H. et GERNSEIM, A. (1965) : A concise History of the Photography. Edition Thames and Hudson, London, 1 Vol, 314 pages.

GILBRETH, F.B. (1913) : Industrial Management. J. Am. Soc. mech. Engrs., 35, 871.

GRÄPER, L. (1926) : Beobachtung von Wachstumsvorgängen an Reihenaufnahmen lebender Hühnerembryonen nebst Bemerkungen über vitale Färbung. Arch. Entwmech. Org., 33, 303.

GRÄPER, L. (1929) : Die Methodik der stereokinematographischen Untersuchung des vital-gefärbten Hühnerembryos. Arch. Entwmech. Org., 115, 523.

HINSCH, W. (1953) : Bibliographie der Arbeiten von Lucien Georges BULL. Research Film, 3, 26 pages.

HUNTER, F., et DRIFFIELD, V.C. (1920) : The Photographic Researches of Ferdinand Hunter et Vero C. Driffield, Collected Writtings, par W.B. FERGUSON ed., Londres.

JANSSEN, J.C. (1874) : Enregistrement du déplacement de Vénus. C.R. Acad. Sci. Paris, LXXIX, 6 juillet.

LONDE, A. (1893) : La Photographie Médicale, in Conférences Publiques sur la photographie du Conservatoire des Arts et Métiers. Edition Gauthier-Villars, Paris, 1893.

LUMIERE, A., et LUMIERE, L. (1895) : Appareil servant à l'obtention et à la vision des chronophotographies. Brevet Français n° 245.032 du 13 Février 1895.

MACINTYRE, J. (1897) : X-Ray Records for the Cinematograph Lancet, 920 et 1706.

MAREY, E.J. (1878) : La Méthode graphique dans les sciences expérimentales et particulièrement en physiologie et en médecine. Ed. Masson, Paris, 1 Vol.

MAREY, E.J. (1883) : Le Vol des Oiseaux. C.R. Acad. Sci. Paris, 96, 1399 et Masson, Paris, 1890.

MAREY, E.J. (1885) : Développement de la Méthode graphique par l'emploi de la Photographie. Supplément à la Méthode graphique. Ed. Masson, Paris, 1 Vol.

MAREY, E.J. (1888) : Décomposition des phases d'un mouvement au moyen d'images photographiques successives, recueillies sur une bande de papier sensible qui se déroule. C.R. Acad. Sci. Paris, 107, 677. Séance du lundi 29 octobre 1888.

MAREY, E.J. (1894) : Des mouvements que certains animaux exécutent pour retomber sur leurs pieds, lorsqu'ils sont précipités d'un lieu élevé. C.R. Acad. Sci. Paris, 119, 714 et La Nature, 22, 369.

MAREY, E.J. (1899) : La Chronophotographie. Ed. Gauthier-Villars, Paris, 1 Vol.

Mc GIBBON, J.E.G. (1940) : Cinébronchographie. Lancet, 238, 1038.

MICHAELIS, A.R. (1953) : The Litterature of the Research Film. Research Film, 2, 3.

MICHAELIS, A.R. (1955) : Research Film in Biology, Anthropology, Psychology, and Medecine. Ed. Academic Press Inc., N.Y., 1 Vol, 490 pages.

MUYBRIDGE, E. (1882) : The Attitudes of Animals in Motion, illustrated with the Zoöpraxiscope. Proc. roy. Instn. G.B., X, 44.

NAEGLI, T. et JANKER, R. (1931) : Experimentellröntgengenologische und röntgenkinematographische Kreislaufstudien, Dtsch. Z. Chir., 232, 560.

NEWHALL, B. (1967) : L'histoire de la Photographie. Ed. Le Bélier-Prisma, Paris, 1 Vol, 215 pages.

OCCHIALINI, G.P.S. et POWELL, C.F. (1947) : Nuclear Physic in Photography, tracks of charged particules in photographic emulsions. Ed. Clarendon Press, Oxford, 1 Vol.

PAINLEVÉ, J. (1956) : Cinema and Research. Science and Film, 5 n° 4, 19.

PARIS, Dr. (1827) : Philosophy in Sport made Science in earnest. Livre.

PLATEAU, J.A. (1828) : Sur les apparences que présentent deux lignes qui tournent autour d'un point avec un mouvement angulaire uniforme.

PLATEAU, J.A. (1829) : Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière sur l'organe de la vue. Thèse de Physique 3 juin 1829.

PLATEAU, J.A. (1833 a) : Le Phenakitiscopé. Correspondance Mathématique et Physique de Quetelet. 20 janvier 1833.

PLATEAU, J.A. (1833 b) : Des illusions d'Optique sur lesquelles se font le petit appareil appelé récemment Phénakitiscopé. Ann. Chim. Phys., 53. 304.

PLATEAU J.A. (1877/1883) : Bibliographie analytique des Principaux Phénomènes subjectifs de la vision depuis les temps anciens jusqu'à la fin du XVIIIe siècle. Mém. Acad. Roy. Sc. Bruxelles, 9 parties.

REICHER, K. (1907) : Die Kinematographie in der Neurobiologie. Neurol. Zbl., 26, 496.

ROUX, W., et BALTHAZARD, (1897) : Sur l'emploi des rayons de Röntgen pour l'étude de la motricité stomacale. C.R. Soc. Biol. Paris, 49, 567 ; Arch. Anat. Physiol., 1898, 10, 85.

THEVENARD, P., et TASSEL, G. (1943) : Le cinéma scientifique français. Ed. La Jeune Parque, Paris, 1 Vol, 214 pages.

WEILAND, M. (1936) : Ein Messverfahren zur Bestimmung der Belichtungszeit für die microphotographische Aufnahme. Z. wiss. Mikr., 53, 183.

WEISS, M.G. (1896) : Expérience de Chronophotographie Microscopique. C.R. Soc. Biol. Paris, 48, 645.

WOLF, G. (1952) : The Research Film. Science and Film, 1 n° 1, 12.

6.2/ LIGNEE CLASSIQUE : RECHERCHE PAR LE CINEMA

AMERICAN HEART ASSOCIATION (1964) : Cine Coronary Arteriography (film)
16 mm, sonore, N et B, 20 mn.

BAFZ, S. (1966) : Recording of Microvascular Dimensions with an Image-Splitter Television Microscope. J. appl. Physiol., 21, 299.

BÖER, K.W. (1964) : Filmaufnahmen von Feld-und Strominhomogenitäten in CdS - Einkristallen. Research Film, 5, n° 1, 47.

BOUHOT, G. (1968) : Première étude de la télévision du satellite sous-marin. Recherche C.A.V. 68/B 5, rapport n° 2.

BRAHMARK, P.I. (1966) : Intravital Microscopy: its Present Status and its Potentialities. Med. biol. Ill, XVI n° 2, 100.

CINEMATOGRAFIE A 3 000 I/S DE LA CONTRACTION D'UN COEUR DE CHIEN
Essai, 16 mm, couleurs, muet, 3 minutes, 1967.

Métrage réalisé avec le concours du Dr J.P. BRUNET, Hôpital Lariboisière.
Présenté en réunion de travail de cardiologie inter-hôpital à l'Hôpital Lariboisière, Professeur Y. BOUVRAIN.

COMANDON, J., et LOMON, A. (1924) : Cinématographie radiographique du coeur de l'homme. C.R. Acad. Sci., 178, 997. Bull. Acad. Méd., 91, 711. Rev. gén. Electr., 15, 666. Rech. et Invent. 17, 581.

CRAWFORD, J.H., et ROSENBERGER, H. (1926) : Studies of Human Capillaries ; Apparatus for Cinematographic Observations. J. clin. Invest., 2, 343.

DAWE, A.C. (1963) : Special Types of Vidicon Tubes. Ind. Electron., 1, 739.

DE GRAAF, J.G.A. (1968) : Use of High-Speed Photography in Research in the Netherlands. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 77 n° 9, 887.

ENREGISTREMENT DE L'ACTIVITE ELECTRIQUE ET MECANIQUE DU COEUR DE GRENOUILLE IN SITU.

16 mm, couleur, sonore optique, 15 mn. Version Française. 1969.

Conseiller scientifique : D. GARNIER, Fac. des Sc. de Poitiers.

Laboratoire de Physiologie Générale, Poitiers, Pr. Y.M. GARGOUIL.

Réalisation : G. BOUHOT, A. PAILLE, J. VALERIEN, CAV, ENS, St-Cloud.

FIELDS, J.J., et PRINZMETAL, M. (1952) : High Speed Electrocardiography. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 59, 493.

FRANCOIS-FRANCK, C.A. (1902) : La Chronophotographie simultanée du coeur et des courbes cardiographiques chez les mammifères. C.R. Soc. Biol., 54, 1193.

FRANCOIS-FRANCK, C.A. (1903) : Effet vasodilatateur du nitrite d'amyle sur les vaisseaux. (Enregistrements chronophotographiques à l'aide du magnésium à déflagration lente). C.R. Soc. Biol., 55, 1448.

FREDERIC, J. (1954) : Etude de différentes longueurs d'onde du spectre visible sur des cellules vivantes cultivées in vitro. C.R. Soc. Biol., 148, 1678.

FROLOV, V.A., et KISELEV, O.I. (1963) : The Synchronisation of the Moment of Photography, Radiography and Cinematography of the Heart with a Previously Crossed Phase of the Cyclic Activity. Zh. Nauchn. i Priklad. Fot. i Kinemat, 8, 306.

GELIN, L.E. (1965) : Capillary Blood Flow in Bulbar Conjunctiva. Med. biol. Ill, XV n° 1, 2.

HART, L.M., HEYMAN, A., LINHART, J.W., Mc INTOSH, H., et DAVID, N.J. (1963) : Fluorescence Motion Picture Photography of the Retinal Circulation, a Description of Techniques and Normal Retinal Blood Flow. J. Clin. Med., 62, 703.

HAUCK, G. et SCHRÖDER, H. (1965) : Luminence-Microscopic Observations in Vivo to the Problem of the Dependence of the Capillary Permeability from Clotting Potential of the Blood Flow. Bibl. Anat., 7, 229.

HERBERT, A., et FISCHLER, A. (1967) : Time Lapse Cinematography of Tissue Cultures Utilizing Phase-Contrast Optics : Design and Construction Considerations. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 76 n° 3, 216.

HEYSE, E. (1965) : Mikrokinematographische Anordnung für Zeitdehnungsaufnahmen der Blutströmung in den Lungengefäßen. Research Film 5 n°4, 356.

HOWE, H.S. (1932) : Microcinematographic Studies of the Effect of Certain Drugs on the Cerebral Circulation. J. nerv. ment. Dis., 76, 165.

HUGHES, J. (1955) : Un instrument pour mesurer la Vitesse et le Débit sanguins dans les Vaisseaux microscopiques. Research Film, 2 n° 1, 15.

HYVARINEN, L., et NIEMINEN, H. (1967) : Fluorescence cinematography of the ocular fundus. Acta Ophthalmol., 45 n° 1, 100.

INTRODUCTION A LA GEOLOGIE SOUS-MARINE

Film 35 et 16 mm, coul. sonore optique, 13 mn. Version Fr., 1964.

Conseiller scientifique : G. BOILLOT, Fac. des Sc., Paris. Réalisation : G. BOUHOT, J. VALERIEN, CAV, ENS, St-Cloud.

INTRODUCTION A LA GEOPHYSIQUE OFF SHORE, LE TUNNEL SOUS LA MANCHE

Film 35 et 16 mm, coul. sonore optique, Version Française, 1970.

Conseiller scientifique : J.P. DESTOMBES, Bureau des Recherches Géologiques et Minières. Réalisation : G. BOUHOT, CAV, ENS, St-Cloud.

KLOSEVYCH, S. (1967) : Progress in the Science of Photography through the Microscope. J. biol. fotogr. Ass., 35, 130.

KROGH, A., et REHBERG, P.H. (1924) : Kinematographic Methods in the Study of Capillary Circulation. Amer. J. Physiol., 68, 153.

LERCH, K. (1965) : New Automatic Exposure for Photomicrography. Bild. u. Ton, 18, 307.

LONG, A.G. (1963) : A Method for Estimating Accurate Exposure in Photomicrography. Indust. Commer. Photogr., 2 n° 10, 47.

LUCEY, E. (1957) : Some Observations on Analysis Errors Caused by the Use of High Intensity lighting in Cine-Micrography. Research Film, 2 n° 6, 286.

MARCKMANN, A. (1966) : A New Technique for Vital Microscopic Studies of the Capillary Bed in Rat Skin. Angiology, 17, 469.

MAREY, E.J. (1892) : Le mouvement du coeur, étudié par la chronophotographie. Monit. Photogr., page 162. C.R. Acad. Sci. Paris, 115, 485.

MEYERS, N.L. et SCHNEIDER, C.L. (1967) : A Three Axis Micro-Positioning Machine for Cinematography of Living Tissues. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 76 n° 8, 800.

MICHIGAN SANATORIUM (1916) : The Frog as an Entertainer in Motion Pictures. Sci. Amer., 114, 471.

MICROELECTROPHYSIOLOGIE DU COEUR EMBRYONNAIRE DE POULET EN CULTURE ORGANOTYPIQUE

Film 16 mm, coul. sonore optique, 18 mn, Version Française, 1964.

Conseillers scientifiques : G. LE DOUARIN, G. ORRECHT, G. BOUHOT, E. CORABOEUF, Faculté des Sciences, Orsay, et CAV, ENS.

Réalisation : G. BOUHOT, J. VALERIEN, CAV, ENS, St-Cloud.

Communication filmée au Congrès des Physiologistes de Langue Française, Marseille, 1964. (14 présentations).

MIDGLEY, F.W. (1966) : Photography of the coronary arteries. Med. biol. Ill, XVI n° 1, 55.

MONCEL, C. (1967) : Méthode simple et rapide de contrôler un Temps de Pose et la Qualité d'une Image en Microcinématographie. Research Film, 7 n°2, 165.

MOON, I.A., et EVEREST, F.A. (1967) : Time Lapse Cinematography. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 76 n° 2, 81.

NUKI, K., et JEPSEN, A. (1965) : A Simple Automatic Exposure Device for Photomicrography. Acta. Odontol. scand., 22, 95.

PAINLEVÉ, J. (1958) : Influence de la lumière Visible sur les Structures vivantes en Microcinématographie. Research Film, 3 n° 1, 17.

POLICART, A., et COLLET, A. (1952) : Recherches sur les premiers stades des pneumoconioses : Microcinématographie en contraste de phase de la phagocytose des particules minérales. Research Film, I n° 1, 9.

PRINZMETAL, M. (1950) : Mechanism of the Auricular Arrhythmias. Circulation, 1, 241.

RECONSTRUCTION EXPERIMENTALE DU TUBE CHEZ L'HERMELLE "SABELLARIA ALVEOLATA"

Film 35 et 16 mm, coul. sonore optique, 8 mn. Version Française, 1965.

Conseiller scientifique : J. VOVELLE, Fac. des Sc., Paris.

Réalisation : G. BOUHOT, J. VALERIEN, CAV, ENS, St-Cloud.

Film présenté en illustration à la soutenance de thèse de J. VOVELLE, Faculté des Sciences de Paris, 1965.

ROBINEAUX, R. (1957 a) : L'Eclairage du Microscope en Micro-cinématographie II. Research Film, 2 n° 5, 233.

ROBINEAUX, R. (1957 b) : Etat actuel du Problème de l'Action de la Lumière sur des Cultures de Tissus Animaux dans le Cas particulier de la Microcinématographie. Research Film, 2 n° 6, 265.

ROBINEAUX, R., et MONCEL, C. (1969) : Installation 16 mm pour l'Analyse Image par Image, d'Enregistrements Microcinématographiques. Research Film, 6 n° 5, 472.

ROSEMBERGER, H. (1927) : The Microcinema in Medical Research. J. Soc. Mot. Pict. Engrs., 11, 750.

SAUNDERS, R.L. de C.H., FEINDEL, W.H., et CARVALHO, U.R. (1965) : X-Ray Microscopy of the Blood Vessels of the Human Brain. Part 1 : Med. Biol. Ill., 15 n° 2, 108. Part 2 : 15 n° 4, 234.

SAUSEN, K.N. (1963) : A Photoelectric Bench Exposure-Meter for Photomicrography. Trudy Vsesoyuz, 2, 166.

SCHAEFER, A. (1964) : L'automation et la microscopie. Mikroskopion, 1ère partie, 2, 1 ; 2ème partie, 1965, 6, 1.

SCHLOSSER, D., HEYSE, E., et BARELS, H. (1965 a) : Flow rate of erythrocytes in the capillaries of the lung. J. Appl. Physiol., 20, 110.

SCHLOSSER, D., HEYSE, E., et BARELS, H. (1965 b) : Microcinematographic Measurements of Erythrocytes Flow Rate in Lung Capillaries. 3 rd Europ. Conf. Microcirculation, JERUSALEM 1964. Bibl. Anat., 7, 106.

SCHNEIDER, C.L., EIDT, G., et SCHNEIDER, D.N. (1967) : Intravital Cinemicrostob : A vertical Optical Bench for Epicondenser Reflected Dark Field Illumination. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 76 n° 8, 802.

SHERONY, D.F., FITZGERALD, T.J., et KINTNER, R.C. (1967) : Lightmeter for high-speed cinephotomicrographic studies. Phot. Sci. Eng., 11 n°2, 124.

SIMONS, R., et MICHAELIS, A.R. (1953) : A Cinematographic Technique, using Ultra-Violet Illumination, for Amphibian Blood Circulation. Nature, 171, 801. Research Film, 1953, I n° 2, 16.

STEINHAUSEN, M. (1965) : Microscopy and Photomicrography of the living Kidney with the Ultropack Incident-Light Illuminator. Sci. Techn. Inf., 1, 103.

STRUCTURE DE LA CELLULE (Accompagné de diapositives)

Film 35 et 16 mm, coul., sonore optique, 31 mn. Version Française, 1964.
Film placé sous le patronage de la Société Française de Microscopie Electronique.

Réalisation : J. VALERIEN, G. BOUHOT, CAV, ENS, St-Cloud.

Communication filmée présentée en double bande à la séance inaugurale du Congrès de Microscopie Electronique afin d'obtenir l'agrément des membres de la Société, Strasbourg, 1964.

TCHACAROF, E.L., et STOMONYAKOV, V. CH. (1964) : Considerations on Certain Problems in the Determination of Exposure Time in Photomicrography, Mikroskopie, 18, 263.

TRANSFERTS D'ENERGIE DANS LA CELLULE : I. PHOTOSYNTHESE (Accompagné de diapositives).

Film 35 mm et 16 mm, coul. sonore optique, V.F. (En cours de finition)
Conseiller scientifique : Professeur M. MOYSE, Laboratoire de Photosynthèse, Centre National de la Recherche Scientifique. Réalisation : G. BOUHOT, CAV, ENS, St-Cloud.

TRANSFERTS D'ENERGIE DANS LA CELLULE : II. RESPIRATION (Accompagné de diapositives)

Film 35 et 16 mm, coul. sonore optique, V.F. (En cours de finition)
Réalisation : G. BOUHOT, CAV, ENS, St-Cloud.

UPENIEKS, H. (1965) : Reference Aeras on Colour Photomicrograph Negatives. Med. biol. Ill., XV n° 3, 154.

VALLANCIEN, B. (1966) : Fibres optiques. Research Film, 5 n° 5, 496.

WEBB, R.L., et NICOLL, P.A. (1952) : Subcutaneous Blood Flow in the Bat (film). Audio Visual Center, Indiana University. Bloomington, Ind.

WEIDEL, G. (1964) : The Photoelectric Measurement of Completely Automatic Control of Exposure Time in Photomicrography. 2. med. Labortech., 5, 79.

WEIDERHEILM, C.A. (1963) : Continuous Recording of Arteriolar Dimensions with a Television Microscope. J. appl. Physiol., 18, 1041.

WELLS, R.E., SCHILDKRAUT, E.R., TIECHER, S., et EDGERTON, H.E. (1964) : Cinemicrophotography of Blood Flow in Man. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 73, 627.

WESTON, R. McV. (1964) : A Photometric Eyepiece for Exposure Estimation in Photomicrography. J. Roy. micr. Soc., 82, 211.

WHITE, G.W. (1963) : The Visual Determination of Exposure Time in Photomicrography. Microscope, 14, 34.

WIGGERS, C.J. (1929/30) : Studies of Ventricular Fibrillation Caused by Electric Shock. Amer. Heart J., 5, 351.
Film : Cardiac Irregularities, Royal Microscopical Society Film Library.

ZEZSCHWITZ, P. Von (1924) : Zur Bewegung der hinteren Herkammerwand und des linken Vorhofs. (Mit Kinematographie). Münch. med. Wsdhr., 71, 614.

ZIMMER, J.G., CURTIS, R.W., GRUBBY, N.C., et DEMIS, D.J. (1963) : Television Cinephotomicrography in the Study of the Human Cutaneous Microcirculation. Angiology, 14, 404.

6.3/ UTILISATION EN RECHERCHE DU CIRCUIT FERME

DE TELEVISION COMME MOYEN D'INVESTIGATION

6.3.1/ TELEVISION SOUS-AQUATIQUE

6.3.2/ TELEVISION ET RAYONS X

- ANONYME, (1955) : Industrial television. Science and Film, 4 n° 2, 20, reproduit de The Times Review of Industry, Février 1955.
- BARCLAY, A.E., FRANKLIN, K.J., et FRICHARD, M.M.L. (1940) : X-Ray Cinematography in Research. Brit. J. Radiol., 13, 227.
- BLACKER, R.W., et WOODHEAD, P.M.J. (1965) : A Towed Underwater Camera. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 45, 593.
- BLANCHARD, L.R., et MANCHESTER, J.S. (1967) : Functional and Comparative Study of Direct-View Image Intensifier Systems. J. Canad. Ass. Radiol., 18, 393.
- BOTDEN, P.J.M. (1962) : Some Remarks on Intensification, Contrast and Detail in X Ray Image Intensifiers. Med. Mundi, 8, 59.
- BOUHOT, G. (1968) : Principes de Photo Sous-Marine. Photo, 10, 80.
- BOUTAN, L. (1900) : Photographie Sous-Marine. Ed. Schleicher, Paris, 1 Vol.
- BREWER, G.M. (1962) : Some Investigations in Underwater Photography. Med. biol. Ill., XII n° 4, 226.
- CAMPBELL, J.A., KLATTE, E.C., TAMPAS, J.P., GRAY, D.D., et REESE, I.C. (1962) : Factors Determining Film Exposure in Cineradiography, Radiology, 78, 705.
- CARVALLO, M.D. (1910) : Methode radiochronographique. Trav. Ass. Inst. Marey, 11, 76.
- CHESTERMAN, W.D., et CHAMP, W.R. (1952) : Cine and Television Cameras Underwater. Science and Film, 1 n° 3, 5.
- CLARCK, C.N., et NEUBECKER., T.F. (1967) : Evolution in Tungsten Lamps for Television and Film lighting. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 76 n° 4, 347.
- COLE, L.G. (1912) Gastric Motor Phenomena Demonstrated with the Projecting Kinetoscope. Amer. Quart. Röntegenol., 3, 1.

COLTMAN, J.W. (1948) : Fluoroscopic Image Brightening by Electronic Means. Radiology, 51, 359.

COMMANDON, J., et LOMON, A. (1911) : La Radiocinématographie par la photographie de l'écran renforceur. Pr. Méd. 29 n° 425 et 329 (27 mai) et Bull. Soc. Radiol. méd. Paris, 3, 127.

CRAIG, R.E., PRIESTLEY, R., et WYNN, G.G. (1963) : Undersea Photography in Marine Research. Marine. Res., 1, 24.

DAUVILLIER, A. (1928) : Anwendung der Grundlagen des Fernsehens in der Röntgenologie ; der "Radiophot". Rev. gén. Elect., 23.

DJIAN, G. (1935) : Procédé de radioscopie cinématographique. C.R. Acad. Sci. Paris, 200, 1443.

DUNTLEY, S.Q. (1963) : Light in the Sea. J. Opt. Soc. Amer., 53, 214.

EDGERTON, H.E. (1963) : Underwater Pinpoint Photography. J. Soc. fotogr. sci. Engrs, 2, 3.

EDGERTON, H.E. (1967) : Supplementary lighting in Underwater Photography. Photogram. Engng., 33, 906.

E.M.I. Ltd (1966) : Small Television Camera. Med. Biol. Ill., XVI n° 2, 130.

ENGELS, C.E. (1968) : Photography for the Scientist. Ed. Academic Press, London and N.Y., 1 Vol., 632 pages.

FEDDMA, J., et MARQUERINCK, J.E. (1966) : X-Ray Television Using the Plumbicon. Med. Biol. Ill., 16 n° 1, 33.

GEBAUER, A., et LISSNER, G. (1963) : Experimental Comparaison of Different Roentgen-Television Systems (Image-Orthicon, Vidicon). Fortschr. Röntgenstr., 99, 98.

GEOFFROY, G. (1962) : Evolution du Film Français de Sciences Naturelles. Mémoire CAV, ENS, St-Cloud, 1 Vol dactylographié, n° 400.524, 127 pages.

GUTHHEIMER, V. (1929) : Röntgenkinematographie, Technik und medizinische Bedeutung. Photoogr. Ind. Berl., 23.

GROEDEL, F.M. (1913) : Die Technik der Röntgenkinematographie. Dtsch. med. Wschr., 35, 434.

HEISE, T., MARQUERINCK, J.F., et SEUR, C.J. (1966) : Special Circuit for an X-Ray Television Camera Chain. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 75 n° 7, 645.

HERSTEL, W. (1963) : Analysis of the Image in Radiological Television. J. Belge. Radiol., 46, 279.

HOOD, J.H., et JONES, P.R.W. (1967) : Cinematographic Instrumentation in Cineradiology. J. Soc. Mot. Pict. Engrs., 76 n° 11, 1000.

IVANOFF, A., et CHERNEY, P. (1960) : Correcting lenses for underwater use. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 60, 264.

JANKER, R. (1939) Die Röntgenkinematographie. Ed. Kolhammer Stuttgart, 1 Vol.

JANKER, R. (1962) : Cineradiography with Image Intensifier and Television Radiography. Research Film, 1, 299.

KARPELIAN, E.K. (1947) : U.S. Patent 2.424.827 et US Camera, 1948, II, 39.

KÄSTLE, C., RIEDER, H., et ROSENTHAL, J. (1909) : Über Kinematographisch aufgenommene Röntgenogramme (Bio-Röntgenographie) der inneren Organe des Menschen. Münch. med. Wschr., 56, 280.

KITTLESON, A.C., GRIEWSKI, L.R., et WITTHEOUSE, W.M. (1966) : Two Camera Video Technique for Recording and Teaching Procedures Involving Fluoroscopy. J. Soc. Mot. Pict. Engrs., 75 n° 7, 652.

KRONENGOLD, M., et LOEWENSTEIN, J.M. (1965) : Cinematography from an Underwater Television Camera. Research Film, 5 n° 3, 242.

LABAN, A., PERES, J-M., et PICARD, J. (1963) : La photographie sous-marine profonde et son exploitation. Bull. Inst. Océanogr., 60, 2.

LISSNER, J., GEBAUER, A. (1963) : Cineradiography using Television System. Comparaison Between Different Image Intensifier Sizes and Different Television Cameras. Fortschr. Röntgenstr., 99, 102.

LODKIN, A.S. (1962) : The Uses of a Wide Angle Attachment in Under-Water Kinematography with a 16 mm Camera. Tekh. Kino. Televid., 6, 67.

LUBOSHEZ, B.E., (1929) : Cinéradiographic. Bull. Soc. Radiol. méd. Paris, 18, 450.

MACINTYRE, J. (1897) : Records for the Cinematograph. Lancet. 920 et 1706.

MALÝ, S., SLABA, J. et TOMAN, L. (1956) : Röntgenfilm "Bewegung des Zwerchfells beim Gesang". Research Film, 2 n° 3, 141.

MAREY, E.J. (1890) : La locomotion dans l'eau par la chronophotographie. La Nature, 18, 375.

MENZIES, R.J., SMITH, L., et EMERLEY, K.O. (1963) : A combiner Underwater Camera and Bottom Grab : A New Tool for Investigation of Deep-Sea Benthos. Int. Rev. gesa. Hydrobiol. System. Beihefte, 48, 529.

MERTENS, E. (1966) : Underwater Photography. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 75 n° 10, 983.

MERTÉ, W. (1934) : Das R-Biotar 1:0,85 von C. Zeiss ein Spezial-Objektiv für Röntgenkinematographie.. Zeiss Nachr., 6.

METZNER, J.G.J., et BECK, F. (1952) : Eine neue Röntgenzwillingskamera. Kinotechnika, 3, 55.

MICHAELIS, A.R. (1955) : Research Films in Biology, Anthropology, Psychology, and Medicine. Ed. Academic Press. Inc., N.Y., 1 Vol, 490 pages.

MIRA, J. (1970) : Influence des ombres dans la perception du relief. Mémoire CAV, direction BOUHOT, G.G., 1 Vol, 46 pages.

MITCHELL, C.T. (1967) : An Inexpensive Self-contained Underwater Data Recording Camera. Calif. Fish. Game, 53, 203.

OOSTERKAMP, W.J., VAN'T HOF, A.P.M., SCHEREN, W.J.L., et TEUNISSEN, P.G.A. (1968) : New Methods for Television Display of Roentgenological Information in Black-and-White and in Color. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 77 n° 12, 1290.

PALMER, A.B. (1964) : The Technical Problems of Television. Film Recording. Brit. Kinematogr., 45, 81.

PYE Ltd (1955) : The developpement of Television for Industry and Science. Science and Film, 4 n° 3, 21.

REBIKOFF, D. (1953) : Explorations Sous-Marines, la cinétorpille. Research Film, 3, 19.

REBIKOFF, D. (1968) : Design Criteria of Underwater Motion-Picture and Television System. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 77 n° 4, 354.

REHMAN, I. (1947) : High Speed X-ray Motion Picture Studies. J. Biol. photogr. Ass., 16, 15.

REYNOLDS, L, CORRIGAN, K.E., et HADEN, H.S. (1950) : The Use of the Cinefluorographie Method for Teaching Purpose. Amer. J. Roentgenol., 63, 902.

RICHTER, H.U. (1963) : Optics for Underwater Photography. Neptun, 2, 192.

RÖNTGEN, W.K. von (1895) : Veber eine neue Art von Strahlen. S.B. phys. med. Ges. Würzburg, traduit dans Science, 1896, 3, 227.

ROUX, W., et BALTHAZARD (1897) : Sur l'emploi des rayons de Röntgen pour l'étude de la motricité stomacale. C.R. Soc. Biol. Paris, 49, 567.

SARSON, A.E. (1953) : The Application of Television to Cinematography. Science and Film, 2 n° 4, 41.

SAUNDERS, R.L. de C.H., FEINDEL, W.H., et CARVALHO, V.R. (1965) : X-Ray Microscopy of the Blood Vessels of the Human Brain. Part. 1 : Med. Biol. Ill., 15 n° 2, 108. Part. 2 : 15 n° 4, 234.

SKINNER, G.B., et FRASER, R.G. (1967) : The use of Television and Motion Pictures in Diagnostic Radiology. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 76 n° 3, 225.

SPEELMAN, W.J. (1965) : Television Recording on Film. Research Film, 5 n° 4, 338.

SPONNER, A.M. (1957) : Cinematography via Television. Research Film, 2 n° 6, 272.

SPONNER, A.M. (1958) : Tonal Reproduction in Telerecording. Research Film, 3 n° 1, 29.

STANFORD, B. (1941) : A Research into the Physical Factors concerned in Indirect Radiography. I à VII, Brit. J. Radiol., N.S. 14, 128, etc... et 1942, N.S. 15, 24.

STAUFFER, H.M., HAAS, C., et BLACKSTONE, A.W. (1964) : Progress in stereofluoroscopy transmission. Radiology, 82, 125.

STENUIT, R. (1967) : La Plongée Sous-Marine. Ed. Arts et Voyages, Bruxelles, 1 Vol, 104 pages.

STURM, R.E. et MORGAN, R.H. (1948) : Screen Intensification Systems and Their Limitations. Amer. J. Roentgenol., 62, 617.

SWANN, W.F. (1968) : Film for Underwater Photography. Photogram. Engng., 33, 912.

THEVENARD, P., et TASSEL, G. (1948) : Le cinéma scientifique français. Ed. La Jeune Parque, Paris, 1 Vol, 214 pages.

VALLANCIEN, B., et NOIX, M. (1968) : Cinéradiologie sans amplificateur de
brillance ? Bulletin Institut de Cinématographie Scientifique, 6, 12.

WOLF, G. (1957) : The Technical and Scientific Research Film, methods
and examples. Science and Film, 6 n° 1, 21.

6.4/ UTILISATION EN RECHERCHE DU CIRCUIT FERME

DE TELEVISION COMME MOYEN D'ELARGISSEMENT

DU DOMAINE PERCEPTIF

6.4.1/ ENREGISTREMENT DU COMPORTEMENT
ANIMAL OU HUMAIN DANS LE NOIR ABSOLU

6.4.2/ DISSOCIATION D'UN STIMULUS EN
LUMIERE BLANCHE ET DU RAYONNEMENT
CONCOURANT A LA FORMATION DE L'IMAGE

- ANONYME (1955) : Industrial television. Science and Film, 4 n° 2, 20.
- ANONYME (1961) : Infrared and Ultraviolet Photography. Ed., Eastman Kodak, Rochester, Kodak Advanced Data Book, 50 pages.
- ANONYME (1966) : Camera Takes Pictures in Dark without even infra-red Light. Prod. Engng, 37 n° 17, 28.
- BANG, B.A. (1961) : High-Sensitivity Television as an Aid to low-light-level Photographic Recording. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 70, 719.
- BARNETT, R.H., MOXHAM, R.M. (1961) : Notes : Infrared Phosphorescence Detection Using Pulsed Excitation. Rev. sci. Instrum., 32, 740.
- BERG, W. (1950) : Reflex action of the Pupil. Photogr. J., 90B, 117.
- BOUHOT, G. (1968) : Première étude de la télévision du satellite sous-marin. Recherche CAV 68/B 5, rapport n° 2, dossier n° 2, 12 pages, multigraphié.
- BOUHOT, G. (1969) : Les sortilèges de l'Infrarouge. Photo, 18, 51.
- BRANDT, D. (1962) : Infra-red Photography as a Diagnostic Aid in Medecine. Bild. u Ton, 15, 39.
- BUDER, J. (1926) : Kinematographische Registrierung mit dunkelstem Rot und kurzer Belichtung. Ber. dtsh. bot. Ges., 44, 47.
- BURKERT, D.G., et SCHENK, H. (1967) : Eine kinematographische Method zur Bestimmung der Cornealreflexzeit und der zeitlichen Dauer des Lidschlages. Research Film, 6 n° 2, 154.
- CADE, C.M. (1961) : New Advances in Infra-Red. Industr. Photogr., 10, 68.
- CLARK, W. (1946) : Photography by Infrared. Ed. Chapman and Hall, London, 1 Vol.
- DAWE, A.C. (1963) : Special Types of Vidicon Tubes Ind. Electron. 1. 739.

DENSTMAN, H. (1968) : The Invisible Becomes Visible. Ind. Photogr., 17 n° 4, 24.

DRAGESCO, J. (1957) : A propos de la Cinématographie des Termites. Research Film, 2 n° 6, 292.

DUHM, E. (1965) : Infrarot-Kinematographie von Kindern bei der Filmbetrachtung. Research Film, 5 n° 3, 271.

FRANK, M., et NERONI, M. (1969) : A Fixation-PointMarker-Employing Infrared Light Television. Research Film, 6 n° 6, 555.

GIBSON, L. (1962) : The Photography of Infrared Luminescence. Part. I : General considerations. Med. Biol. Ill., 12 n° 3, 155. Part. II : Investigation of Infra-Red Phosphorescence, 1963, 13 n° 1, 18. Part. III : Plotting Infra-Red Phosphorescence Decay Curves, 1963, 13 n° 2, 89.

GRANT, J., MICHEL, E., et THELEN, A. (1962) : Recent Developments in Infrared Narrow Band Pass Filters. Infrared Phys., 2, 123.

HEIMAN, W., et KUNZE, C. (1962) : Infrared-Vidicon. Infrared Phys., 2, 175.

HEUNERT, H.H. (1958) : Infrarotmikroaufnahmen vom Phototropismus bei Bryozonen. Research Film, 3 n° 1, 42.

HUGUES, J. (1955) : Un Instrument pour mesurer la Vitesse et le Débit sanguins dans les Vaisseaux microscopiques. Research Film, 2 n° 1, 15.

JASINSKI, D.R., et MARTIN, W.R. (1967) : Evaluation of a New Photographic Method for Assessing Pupil Diameters (Man). Clin. pharmacol. Ther., 8, 271.

JUDD, C.H., Mc ALLISTER, C.N., et STEELE, W.M. (1905) : General Introduction to a Series of Studies of Eye Movements by means of Kinetoscope Photographs. Psychol. Rev. Monogr. Suppl., 7, 1.

KARPOV, A.N. (1959) : A Device for Determination of the Speed of Eye Movement (Ophthalmometer). Referat. Zhur., Biol., n° 81446.

LORENZ, K., et SCHLEIDT, W. (1952) : Infrarotfilm in der Wissenschaftlichen Kinematographie. Kinotechnik. 7, 172.

LÖWESTEIN, O. (1926) : ~~Über~~ eine Methode zur Kinematographischen Darstellung der Pupillenphänomene und den Ablauf einiger Pupillenreflexe. Zbl. ges. Neurol. Psychiat., 45, 300.

LÜSCHER, M. (1955) : Filmaufnahmen von Termiten. Research Film, 2 n° 2, 62.

MACHEMER, H. (1933) : Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Pupille. Klin. Mbl. Augenheilk., 91, 302.

MACKWORTH, J.F., et MACKWORTH, N.H. (1958) : Eye Fixation Recorded on Changing Visual Scenes by the Television Eye-Marker. J. Optical Soc. America, 48 n° 7, 429.

MACKWORTH, N.H., et THOMAS, E.L. (1963) : Head-Mounted Eye-Marker Camera. J. opt. Soc. Amer., 52, 173.

MICHAFLIS, A.R. (1955) : Research Films in Biology, Anthropology, Psychology, and Medecine. Ed. Academic Press Inc., N.Y., 1 Vol, 490 pages.

MONTAGNER, H., MONCEL, C., et GLFNAT, J. (1967) : Contribution du Cinéma à l'Etude des Intercommunications Tactiles et Olfactives chez les Guêpes Sociales. Research Film, 6 n° 2, 121.

NEWELL, P.F. (1966) : The Nocturnal Behaviour of Slugs. Med. Biol. Ill., XVI n° 3, 146.

PUTMAN, R.E. (1967) : Progress Committer Renort for 1966. J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 76 n° 5, 411.

RIECK, J. (1952) : Infra-red film in research cinematography. Science and Film, 1 n° 3, 21.

SHAKHNOVICH, A.R. (1959) : The Cinematographic Study of the Orienting and Defence Pupillary Reflex. Referat. Zhur., Biol., N° 76695.

SPIRO, J.J. (1963) : Infra-red Today and Tomorrow. J. Soc. photogr. sci. Engrs., 2, 6.

STURMER, W. (1970) : Modern Physical methods in Paleontology. Communication au Symposium de la R.P.S., Londres, 2 décembre 1970.

VAROSSIEAU, J.W. (1966) : Meeting of the Research Film Section of the Interational Film Association, présentation des travaux de DE JONG, Roscoff, France, 23 au 27 septembre.

WEILER, K. (1905) : Demonstration eines neuen Pupillermessapparats. Jahresversammlung Ver. bayer. Psychiat. Munich, juin.

WHYTE, J.N. (1962) : Infrared Optical Systems. Perspective, 4, 144.

WOLF, G. (1957) : The technical and Scientific Research Film, Methods and Examples. Science et Film, 6 n° 1, 21.

WOTTAWA, W.A., et BURKERT, D.G. (1969) : Untersuchungen zum Psychoreflex der Pupille unter Verwendeung einer kinematographischen Registriermethode. Research Film, 6 n° 6, 549.

YOSHINAGA, H. (1964) : Recent Research in Far-Infrared Optics in Japan. Appli. Opt., 3, 805.

YOUNG, L.R. (1963) : Measuring Eye Movements. Amer. J. med. Electr., 2, 300.

6.5/ ASPECTS DE L'EMPLOI DU CINEMA ET DU CIRCUIT

FERME DE TELEVISION DANS L'ENSEIGNEMENT

6.5.1/ CINEMA

6.5.2/ CIRCUIT FERME DE TELEVISION

6.5.3/ FORMATION DES ETUDIANTS A L'EMPLOI
DES MOYENS AUDIOVISUELS

AGNELLO, S.A., MARKEE, J.E., et Mc FALLS, F.D. (1965) : The Central Television Facility Duke University Medical Center. Med. Biol. Ill., 15 n° 1, 39.

ANONYME (1964) : Le Circuit Fermé Médical de Télévision. Le Monde, 3 janvier 1964. Cité dans Med. Biol. Ill., 1964, 14 n° 4, 282.

BARNETT, C.H., LUMPY, H.G. et TAVERNER, D. (1968) : The Symbolism of Shading. Med. Biol. Ill., 18 n° 1, 58.

BETEA (1968) : Inventaire Général des Procédés Techniques de Plateau utilisés pour la réalisation Electronique d'Emissions de Télévision. Ed. BETEA, Paris, 1 Vol. multigraphié, 120 pages.

BETEA (1969) : Etude technique et comparative des différents procédés de réalisation de films ou de séquences filmées destinées à être utilisés dans les programmes de télévision. Ed. BETEA, Paris, 1 Vol. multigraphié, 110 pages.

BETTS, W.T. (1952) : Teaching Anatomy with Films. Science and Film, 1 n° 3, 29.

BINET, L. (1962) : Un projecteur de Télévision en Couleurs sur Grand Ecran à la Faculté de Médecine de Paris. La Presse Médicale, 70, 603.

BLAKER, A.A. (1965) : Photography for scientific publication. Ed. W.H. Freeman and Company, San Francisco et Londres, 1 Vol., 158 pages.

BOUHOT, G. (1969) : Bilan des Travaux de l'Equipe de Sciences Naturelles, jusqu'au 24 octobre 1969. Publication C.A.V., 1 Vol., 93 pages, multigraphié.

BOUHOT, G. (1970) : Agfa-Gévaert, un géant de l'industrie photographique. Phot'Argus, 34, 20.

BRUNEAU, Y., JOMAIN, J. et DUBOIS de MONTREYNAUD, J.M. (1960) : Traité pratique de photographie et de cinématographie médicale. Ed. Paul Montel, Paris, 1 Vol., 304 pages.

CHARPENET, M. (1970) : Perception des lettres incomplètes. Mémoire C.A.V. réalisé sous la direction de BOUHOT, G., et PAILLÉ, A., 1 Vol, 77 pages, multigraphié.

- DAVER, A.M. (1966) : Afrikanische Musik und völkerkundlicher Tonfilm - Ein Beitrag zur Methodik der Transkription. Research Film, 5 n° 5, 439.
- DEBELMAS, J. (1965) : Du Pelvoux au Viso : Un survol géologique des Alpes françaises. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Ber, 22, 63.
- ENGEL, C.E. (1968) : Photography for the scientist. Ed. Academic Press, London et New York, 1 Vol., 632 pages.
- FUCHS, P. (1966) : Völkerkundliche Tonfilm Dokumentation. Research Film, 5 n° 5, 457.
- GOLDBERGER, K. (1958) : Making Chest Surgical Films. Science and Film, 7 n° 1, 21.
- HAMMERSLEY, D.P. (1964) : Illustration of Ideas. Med. Biol. Ill., 14 N° 4, 229.
- HAWKINS, F., et HAMMERSLEY, D.P. (1966) : Speaking at Meetings. Med. Biol. Ill., 16 n° 4, 229.
- HEISS, W.H. (1964) : Closed-Circuit Television in a Teaching Hospital. Med. Biol. Ill., 14 N° 4, 244.
- HÖFLING, K.H. (1964) : Zur Technik psychologischer Filmaufnahmen. Research Film, 5 n° 2, 126.
- JACOBY, J. (1957) : The Scientific Film in Poland. Science and Film, 6 n° 2, 15.
- LEFRANC, R. (1963) : L'utilisation de la télévision en circuit fermé dans l'enseignement supérieur aux Etats-Unis, Thèse de 3ème cycle, sous la direction de DEBESSE, M., 1 Vol., 446 pages, multigraphié.
- LEFRANC, R. (1966) : Les techniques Audiovisuelles au service de l'enseignement. Ed. Colin-Bourrelle, Paris, 1 Vol, 256 pages.
- LEMOINE, M. (1965) : Présentation du film d'enseignement "Du Pelvoux au Viso, un survol géologique des Alpes". Revue de l'Industrie Minérale, 47 n° 10, 1.

LUECY, E. (1955) : Some notes for the Research Worker on the Development of a Specialised Film Laboratory. Research Film, Part I, 2 n° 2, 67 ; Part II, 2 n° 3, 124.

MACKEAN, D.G. (1966) : Introducing Biology. Med. Biol. Ill., 16 n° 3, 163.

Mac KEITH, D.M. (1952) : The place of the film in Teaching Medecine. Science and Film, 1 n° 2, 10.

MADIER, C. (1968) : Projections sonorisées et diaporamas. Ed. Paul Montel, Paris, 1 Vol., 144 pages.

Mc RAE, R.K. (1964) : Eight mm filming by and for the Teaching Department. Med. Biol. Ill., Part I, 14 n° 4, 237 ; Part II, 1965, 15 n° 1, 34.

MEADEN, F. (1957) : Studies in Educational and Instructional Television : A bibliography. Science and Film, 6 n° 1, 11.

MICHAELIS, A.R. (1955) : Research Films in Biology, Anthropology, Psychology, and Medecine. Ed. Academic Press. Inc., N.Y., 1 Vol., 490 pages.

MIRA, J. (1970) : Influence des ombres dans la perception du relief.

Mémoire C.A.V. réalisé sous la direction de BOUHOT, G., et PAILLÉ, A. 1 Vol, 46 pages, multigraphié.

PAINLEVÉ, J. (1955) : Cinéma et Recherches. Ed. Les Conférences du Palais de la Découverte, Paris, 1 Vol., 31 pages.

PAINLEVÉ, J. (1963) : Réflexions sur l'oeuvre du docteur Comandón. Bul. Inst. Cin. Sc. 4, 21.

POLLART, R. (1952) : Education by film in Medecine and Surgery. Science and Film, 1 n° 1, 17.

FRESSMAN, Z. (1967) : Photooptical Instrumentation at Stanford Research Institute. J. Soc. Mot. Pict. Engrs., 75 N° 7, 651.

ROGER, R. (1970) : Perspectives et perspectives photographiques. Mémoire C.A.V. réalisé sous la direction de BOUHOT, G., et PAILLÉ, A., 1 Vol, 59 pages, multigraphié.

SAMOUELIAN, F. (1970) : Planoscopie. Mémoire C.A.V. réalisé sous la direction de BOUHOT, G., et PAILLÉ, A., 1 Vol. 56 pages, multigraphié.

SCOTT, G.B. (1964) : Demonstration of Histology by Closed-Circuit Télévision. Med. Biol. Ill., 14 n° 4, 251.

SEGALLER, D. (1958) : Animation and other visual techniques in Scientific Films. Science and Film, 7 n° 2, 12.

SEUBE, R., et ALEXANDRE, J.C. (1969) : La photographie aérienne. Kodéco, XXI n° spécial Janvier 1969, 50 pages.

SHELTON, J.S. (1966) : Geology Illustrated Ed. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1 Vol., 434 pages.

STELMANN, H. (1955) : Filmaufnahmen im Hamsterbau. Research Film, 2 n° 1, 10.

STANILAND, L.N. (1966) : The Flatford Approach to Biological Illustration. Med. Biol. Ill., 16 n° 3, 160.

THEVENARD, P., et TASSEL, G. (1948) : Le Cinéma Scientifique Français. Ed. La Jeune Parque, Paris, 1 Vol., 214 pages.

THOMAS, R.M., et SWARTOUT, S.G. (1960) : Integrated Teaching Materials. Ed. Longmans, Green and Co. Inc., N.Y., 1 Vol, 545 pages.

TREDINNICK, W.D., et CULL, P. (1965) : Organisation of the Illustration Department. Rapport du Symposium n° 1, Med. Biol. Ill., 15 n° 2 Suppl., 22.

VAROSSIEAU, J.W. (1957) : Making Surgical Films. Science and Film, 6 n° 3, 6.

VIVIE, J. (1969) : Motion Pictures and Education in France.
J. Soc. Mot. Pict. Telev. Engrs., 77, 950.

WITTICH, W.A., et SCHULLER, C.F. (1962) : Audiovisual Materials. Ed.
Harper et Brothers, N.Y., 1 Vol, 500 pages.

WYN, M. (1964) : Le Cinéma et ses Techniques. Ed. Techniques Européennes,
Paris, 1 Vol, 254 pages.

A N N E X E S

- ANNEXE 1 -

SELECTION DE FILMS PEDAGOGIQUES REALISES PAR LE GROUPE DE
SCIENCES NATURELLES DU CENTRE AUDIO-VISUEL (cf. page 4).

DU PELVOUX AU VISO, Un survol géologique des Alpes.

35 et 16 mm, couleurs, sonore optique, version française, 32 mn, 1964.
Conseillers scientifiques : Professeur J. DEBELMAS, Faculté des Sciences de Grenoble, Professeur M. LEMOINE, Ecole Nationale des Mines de Paris.
Réalisation : J. VALERIEN, Centre Audio-Visuel, E.N.S. de St-Cloud avec la collaboration de G. BOUHOT.

- . Premier Prix de Géologie, 3ème Festival du Film Scientifique, Université de Bruxelles, 1965.
- . Deuxième Prix de Géologie, Xème Rassegna Internazionale del Film Scientifico Didattico, Padoue, 1965.
- . Film sélectionné au 3ème Festival International du Film Scientifique de l'Université de Buenos Aires, Argentine, Avril 1966.
- . Film sélectionné au 4ème Festival International du Film Scientifique organisé par l'Australian and New-Zeland Association for the Advancement of Sciences, Sydney, Australie, Mars à Mai 1966.
- . Diplôme d'honneur, 2ème prix, 5ème Festival International du Film Scientifique organisé par l'Australian and New-Zeland Association for the Advancement of Sciences, Sydney, Australie, Avril à Juin 1967.

LA STRUCTURE DE LA CELLULE.

35 et 16 mm, couleurs, sonore optique, version française, 31 mn, 1964.
Film placé sous le patronage de la Société Française de Microscopie Electronique.
Réalisation : J. VALERIEN, G. BOUHOT, Centre Audio-Visuel, ENS, St-Cloud.

- . Film présenté en séance inaugurale au Congrès de la Société Française de Microscopie Electronique, Strasbourg, 1964.
- . Deuxième Prix de Biologie, Xème Rassegna Internazionale del Film Scientifico Didattico, Padoue, 1965.
- . Film sélectionné aux Entretiens de Bichat, Paris, Octobre 1965.
- . Film sélectionné au 4ème Festival International du Film Scientifique organisé par l'Australian and New-Zeland Association for the Advancement of Sciences, Sydney, Australie, Mars à Mai 1966.
- . Film sélectionné au 5ème Festival International du Film Scientifique organisé par l'Australian and New-Zeland Association for the Advancement of Sciences, Sydney, Australie, Avril à Juin 1967.
- . Film sélectionné au 4ème Festival du Cinéma Scientifique de l'Université de Buenos Aires, Argentine, Avril 1967.
- . Mention spéciale aux Jornadas Internacionales de Ciné Médico, Festival International du Cinéma de San Sébastien, 1968.

L'ETOILE DE MER.

35 et 16 mm, couleurs, sonore optique, version française, 10 mn, 1965.

Réalisation : G. BOUHOT, J. VALERIEU, Centre Audio-Visuel, ENS, St-Cloud

- . Film sélectionné au 4ème Festival du Cinéma Scientifique de l'Université de Buenos Aires, Argentine, Avril 1967.

INTRODUCTION A LA GEOLOGIE SOUS-MARINE.

35 et 16 mm, couleurs, sonore optique, version française, 18 mn, 1965.

Conseiller scientifique : G. BOILLOT, Faculté des Sciences, Paris

Réalisation : G. BOUHOT, J. VALERIEU, Centre Audio-Visuel, ENS, St-Cloud

- . Film sélectionné à la XIème Rassegna Internazionale del Film Scientifico Didattico, Padoue, 7 au 14 Novembre 1966.

LES CHAINES SUBALPINES.

35 et 16 mm, couleurs, sonore optique, version française, 32 mn, 1967.

Un film de : J. DELMAS, Faculté des Sciences de Grenoble, M. LEMOINE, Ecole Nationale des Mines de Paris, J. VALERIEU, G. BOUHOT, Centre Audio-Visuel, ENS, St-Cloud.

- . Film sélectionné à la 5ème Exposition du Film Scientifique de l'Université de Buenos Aires, Argentine, 27 Mai au 4 Juin 1968.
- . Film sélectionné au Festival Techfilm, Pardubice, Tchécoslovaquie, 20 au 24 Octobre 1969.

LE VOLCANISME EN FRANCE.

35 et 16 mm, couleurs, sonore optique, version française, 43 mn, 1967.

Conseiller scientifique : Professeur R. BROUSSE, Faculté des Sciences, Orsay. Réalisation : G. BOUHOT, J. VALERIEU, Centre Audio-Visuel, ENS de St-Cloud.

- . Premier Prix de Géologie, XIIème Rassegna Internazionale del Film Scientifico Didattico, Padoue, 1967.
- . Film sélectionné à la 5ème Exposition du Film Scientifique de l'Université de Buenos Aires, Argentine, 27 Mai au 4 Juin 1968.
- . Film sélectionné au Colloque International du Film de Recherche et d'Enseignement, Brno, Tchécoslovaquie, Juin 1968.

ETUDE DU COEUR

FLEXION DU COUDE

ROTATION DU COUDE

8 mm, couleurs muets, 4 mn.

Conseillers Pédagogiques : J. VALERIEU, G. BOUHOT, A. PAILLÉ, Centre Audio-Visuel, ENS de St-Cloud.

Réalisation : G. BOUHOT, A. PAILLÉ, J. VALERIEU, H. LACOSTE.

Production : COFEC - Distribution : IPN.

- . Films sélectionnés à la Semaine Internationale du Film d'Enseignement, organisée par l'International Council for the Advancement of Audio-Visual Media in Education, Bruxelles, 27 Avril 1968.

LA HAUTE CHAÎNE PYRENNÉENNE, 500 millions d'années d'Histoire Géologique.
35 et 16 mm, couleurs, sonore optique, version française, 35 mn, 1969.
Un film de : R. MIROUSE, Faculté des Sciences de Toulouse, M. CLIN,
Faculté des Sciences de Bordeaux, G. BOUHOT, J. VALERIEN, Centre
Audio-Visuel, ENS de St-Cloud.

- . Deuxième Prix de Géologie, XIVème Rassegna Internazionale del Film Scientifico Didattico, Padoue, 1969.
- . Mention Géologie, 6ème Festival International du Film Scientifique de l'Institut National des Sciences Appliquées, Villeurbanne, 20 au 26 Octobre 1969.
- . Film sélectionné au Colloque International de la Cinématographie de Recherche et d'Enseignement, Brno, Tchécoslovaquie, Juin 1970.

- ANNEXE 2 -

A/ - FILMOGRAPHIE DE L'ARTICLE : QUELQUES ESSAIS PRATIQUES DE
VISUALISATION DANS LES FILMS ET LES EMISSIONS DE TELEVISION
EN SCIENCES NATURELLES (cf. pages 199 à 206).

1. "INTRODUCTION A LA GEOPHYSIQUE OFF SHORE, le tunnel sous la Manche". Cons. Sc. : J.P. DESTOMBES. Réalisateur : G. BOUHOT. 35 mm, couleurs, sonore, 30 mn, en cours d'achèvement.
2. "INTRODUCTION A LA GEOLOGIE SOUS-MARINE". Cons. Sc. : G. BOILLOT. Réalisateurs : G. BOUHOT, J. VALERIEN. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, 22 mn, 1965.
3. "LES CHAINES SUBALPINES". Auteurs : J. DEBALMAS, M. LEMOINE, J. VALERIEN, G. BOUHOT. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, 30 mn, 1967.
4. "LE VOLCANISME EN FRANCE". Cons. Sc. : R. BROUSSE. Réalisateurs : G. BOUHOT, J. VALERIEN. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, 45 mn, 1967.
5. "DU PELVOUX AU VISO, Un survol géologique des Alpes". Cons. Sc. : J. DEBELMAS, M. LEMOINE. Réalisateur : J. VALERIEN avec la collaboration de G. BOUHOT. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, 32 mn, 1964.
6. "PREPARATION D'UNE COUPE HISTOLOGIQUE". Cons. Sc. : S. BUSSON. Réalisateur : A. PAILLE, 16 mm, couleurs, sonore, 15 mn, 1968.
7. "LE MICROSCOPE". Cons. Sc. : Pf. MANIGAULT. Réalisateur : J. VALERIEN. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, 30 mn, 1963.
8. "TRANSFERTS D'ENERGIE DANS LA CELLULE : I, PHOTOSYNTHESE". Cons. Sc. : M. MOYSE. Réalisateur : G. BOUHOT. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, en cours d'achèvement.
9. "LE COEUR" (rushes).
10. "ADAPTATION DE LA CINEMATOGRAPHIE A L'OBSERVATION DE LA MICRO-CIRCULATION CORONAIRE, Coeur isolé et perfusé de rat". Auteurs: G. BOUHOT, J. MARTINI, E. CORABOEUF. 16 mm, N et B, muet, 15 mn, 1965.
11. "LA STRUCTURE DE LA CELLULE". Cons. Sc. : Société Française de Microscopie Electronique. Réalisateurs : J. VALERIEN, G. BOUHOT. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, 30 mn, 1964.
12. "MICROELECTROPHYSIOLOGIE DU COEUR EMBRYONNAIRE DE POULET EN CULTURE ORGANOTYPIQUE". Auteurs : G. LE DOUARIN, G. OBRECHT, G. BOUHOT, E. CORABOEUF. Réalisateurs: G. BOUHOT, J. VALERIEN. 16 mm, couleurs, sonore, 18 mn.
13. "COEUR DE CHIEN ET CALEFACTION" - 3 000 i/s, essais.

14. "RECONSTRUCTION EXPERIMENTALE DU TUBE CHEZ L'HERMELLE-SABELLARIA ALVEOLATA". Cons. Sc. : J. VOVELLE. Réalisateurs : G. BOUHOT, J. VALERIEN. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, 8 mn, 1965.
15. "LOCOMOTION DE L'ORMEAU". Réalisateurs : G. BOUHOT, J. VALERIEN. 16 mm, couleurs, muet, 5 mn, 1965.
16. "OBSERVATION D'UNE SOCIETE DE TERMITES PAR TELEVISION INFRA-ROUGE". Cons. Sc. : H. VERRON. Réalisateur : G. BOUHOT. 16 mm, couleurs, sonore, 10 mn, en cours de finition.
17. "ETUDES RADIOCINEMATOGGRAPHIQUES DE LA MOTRICITE GASTRODUODENALE". Cons. Sc. : F. VICARI. Réalisateur : A. PAILLÉ. 16 mm, couleurs, sonore, 20 mn, 1965.
18. "TECHNIQUES D'EXPLOITATION DU FOND SOUS-MARIN". Cons. Sc. : G. BOILLOT. Réalisateurs : G. BOUHOT, J. VALERIEN. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, 20 mn, 1965.
19. "LE MICROSCOPE POLARISANT" (rushes) - Cons. Sc. : R. BROUSSE. Réalisateur : G. BOUHOT.
20. "EXERCICE A UNE ET DEUX CAMERAS". Réalisateur : A. PAILLÉ. 16 mm, couleurs, sonore, 15 mn, 1964.
21. "ECHANGES D'EAU A TRAVERS LA VESSIE DE GRENOUILLE". Cons. Sc. : P.H. BENOIT, J. MAMBRINI. Réalisateurs : G. BOUHOT, J. VALFRIEN. 16 mm, couleurs, sonore, 14 mn, 1964.
22. "LES POLAIRES". Réalisateur : A. POLY. Essai.
23. "FIXATION D'ENERGIE : La photosynthèse". Emission R.T.S., I.P.N.. Réalisateurs : G. BOUHOT, J. VALERIEN. 16 mm, N et B, sonore, 27 mn, 1966.
24. "LA PHOTOSYNTHESE". Essai d'animation.
25. "LA CELLULE ET LES PRINCIPAUX CONSTITUANTS CELLULAIRES". Emission R.T.S., I.P.N.. Réalisateur : G. BOUHOT. 16 mm, N et B, sonore, 27 mn, 1964.
26. "INJECTION ET DISSECTION DU POUSSIN". Cons. Sc. : J. VOVELLE. Réalisateurs : G. BOUHOT, J. VALERIEN. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, 15 mn, 1965.
27. "L'ETOILE DE MER". Réalisateurs : G. BOUHOT, J. VALERIEN. 16 mm, couleurs, sonore, 10 mn, 1965.
28. "INJECTION ET DISSECTION DE LA GRENOUILLE". Cons. Sc. : J. VOVELLE. Réalisateurs : G. BOUHOT, J. VALERIEN. 35 et 16 mm, couleurs, sonore, 15 mn, 1965.
29. "L'EPAAULE". Cons. Sc. et Réalisation : J. VALFRIEN, G. BOUHOT, A. PAILLÉ, H. LACOSTE. 16 et 8 mm, couleurs, muet, 4mn, 1965.
30. "LES FONDS SOUS-MARINS AU LARGE DE ROSCOFF". Auteurs : L. CABIOCH, G. BOILLOT, G. BOUHOT, J. VALERIEN. 16 mm, N et B, muet, 13 mn, 1965.
31. "PHYSIOLOGIE DES MUSCLES". Emission R.T.S., I.P.N.. Réalisateur : G. BOUHOT, 16 mm, N et B, sonore, 27 mn, 1963.

B/ - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES DE L'ARTICLE :

EMPLOI DES CIRCUITS FERMES DE TELEVISION POUR L'ENSEIGNEMENT
DES SCIENCES DANS LES UNIVERSITES (ordre chronologique)

(Cf. pages 239 à 247).

MISE AU POINT D'UN SYSTEME DE PREPARATION AUX TRAVAUX PRATIQUES DE
PHYSIOLOGIE ANIMALE ET DE ZOOLOGIE A LA FACULTE DES SCIENCES DE POITIERS,
A L'AIDE D'UN CIRCUIT FERME DE TELEVISION. V.M. GARGOUIL, A. PAILLÉ,
D. GARNIER et le Personnel Enseignant des Laboratoires de Physiologie
Animale et de Zoologie de la Faculté des Sciences, Poitiers, 1962.

LE FILM DE 8 MM DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES NATURELLES.
J. VALERIEN, dans l'Education Nationale, 1964.

L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES NATURELLES : J. VALERIEN et H. RUPRECHT,
Etudes et documents, UNESCO, 39, p 29.

LA TELEVISION A L'ECOLE. J. VALERIEN, Sang neuf, 1965.

UN FERMENT REVOLUTIONNAIRE, LA TELEVISION. J. VALERIEN, Les nouveaux
cahiers, 1965, 4, p 50.

UNE SERIE OUVERTE SUR LES RECHERCHES ACTUELLES. J. VALERIEN, G. BOUHOT,
Bulletin de la R.T.S., 1965, 31, p 26. Suivi par une série de 7 émissions
et de 7 articles réutilisés plusieurs fois par la R.T.S. de 1965 à 1970.

SIX EMISSIONS DE BIOLOGIE CELLULAIRE. J. VALERIEN, G. BOUHOT,
bulletin de la R.T.S., 1965, 35, p 30.

Six émissions réalisées pour : "UNE EXPERIENCE D'ILLUSTRATION DES
CONFÉRENCES DE TRAVAUX PRATIQUES, LABORATOIRE DE PHYSIOLOGIE GENERALE
DE LA FACULTE DES SCIENCES D'ORSAY".

- . Foie lavé (20 janvier 1964), séquences filmées.
- . Cardiographie de la tortue (27 janvier 1964), film commenté
en direct + photocopié.
- . Pression artérielle du lapin (3 février 1964), film sonore +
photocopié.
- . Echanges d'eau à travers la vessie de grenouille (1 février 1964),
séquences filmées et photographies.
- . Fixation d'iode par la thyroïde du rat (17 février 1964),
photographies.
- . Appareil de HALDANE et réflexes de la grenouille (24 février 64),
télévision en direct.

Réalisation : G. BOUHOT, A. PAILLÉ, J. VALERIEN.

Diffusion de deux émissions de Physiologie Animale réalisées en direct
dans les Laboratoires de Recherche de l'équipe du Professeur P.H. BENOIT
et envoyées par câble dans l'amphithéâtre G2 (phénomènes électriques à
la jonction neuro-musculaire).

Réalisation : G. BOUHOT, A. PAILLÉ, J. VALERIEN.

CIRCUIT FERME DE TELEVISION ET ENSEIGNEMENT SUPERIEUR : une expérience d'illustration des Conférences de Travaux Pratiques réalisée au Laboratoire de Physiologie Générale de la Faculté des Sciences d'Orsay. J. VALERIEN, G. BOUHOT, A. PAILLÉ, Centre Audio-Visuel, Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud. Publication Centre Audio-Visuel, R-15, 1 Vol, multigraphié, 21 pages.

LES CIRCUITS FERMES DE TELEVISION DANS L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR SCIENTIFIQUE. A. PAILLÉ, J. VALERIEN, Centre Audio-Visuel, Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud. Publication Centre Audio-Visuel, R-25, 1 Vol, multigraphié, 33 pages.

Une expérience d'utilisation de la télévision en circuit fermé dans l'enseignement secondaire du premier cycle (Ecole Alsacienne). J. VALERIEN et coll, Comte rendu 1964/1965, Sang neuf, 14, 2e tri. 1966.

Films prototypes de 8 mm :

- . DESTRUCTION DES CENTRES NERVEUX DE LA GRENOUILLE
- . DISSECTION DU SCIATIQUE DE GRENOUILLE (2 parties)
- . DISSECTION DU GASTROCNEMIEN INNERVE DE GRENOUILLE

Conseiller scientifique : Professeur PH. BENOIT, Faculté des Sciences, Orsay. Réalisation A. PAILLÉ, G. BOUHOT, Centre Audio-Visuel, Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud.

Versions uniques en 8 mm, couleurs, muettes, réalisées pour le Congrès International des Physiologistes de Langues Française, Orsay, 1966.

LES TECHNIQUES AUDIO-VISUELLES DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES NATURELLES. Les Thyrses : J. VALERIEN, G. BOUHOT, A. PAILLÉ, Cl. FAURE, M. DEBRUNE, Bulletin de l'Association des Professeurs de Biologie et de Géologie, 1967, 1, p 88.

ELARGISSEMENT DU DOMAINE PERCEPTIF PAR LA TELEVISION.

A. PAILLÉ, J. VALERIEN, G. BOUHOT.

Communication au IIIe Congrès de l'U.E.R., Paris, 8-22 mars 1967.

LA VISUALISATION DANS LES FILMS DE SCIENCES NATURELLES.

G. BOUHOT, J. VALERIEN, A. PAILLÉ.

Emission pour le IIIe Congrès de l'U.E.R., Paris, 8-22 mars 1967.

LE ROLE DU FILM DANS UNE EMISSION DE TELEVISION.

J. VALERIEN, G. BOUHOT, A. PAILLÉ.

Communication au IIIe Congrès de l'U.E.R., Paris, 8-22 mars 1967.

DOSSIERS "SCIENCES NATURELLES" ELABORES POUR LE SEMINAIRE DE SCIENCES NATURELLES, Liévin. J. VALERIEN, G. BOUHOT, A. PAILLÉ, Publication I.P.N., 1967.

LE CIRCUIT FERME DANS LA CLASSE. G. BOUHOT, A. PAILLÉ, Rapport du séminaire des professeurs de biologie utilisateurs de circuits de télévision intégrés, lycée de Sèvres, 10-11 mai 1967.

ELARGISSEMENT DU DOMAINE PERCEPTIF PAR LA TELEVISION.

A. PAILLÉ, J. VALERIEN, G. BOUHOT, Rapport du séminaire des professeurs de biologie utilisateurs de circuits de télévision intégrés, lycée de Sèvres, 10-11 mai 1967.

QUELQUES ESSAIS DE VISUALISATION DANS LES FILMS ET LES EMISSIONS DE TELEVISION EN SCIENCES NATURELLES. G. BOUHOT, J. VALERIEN, A. PAILLÉ, Rapport du séminaire des professeurs de biologie utilisateurs de circuits de télévision intégrés, lycée de Sèvres, 10-11 mai 1967.

DETERMINATION DES CONTENUS D'UNE PROGRESSION POUR UNE CLASSE DE 6ème : rapport du séminaire de travail pour la préparation des contenus et leur mise en oeuvre pédagogique en vue d'un enseignement audio-visuel en Sciences Naturelles (IPN). La commission, dont J. VALERIEN, G. BOUHOT, A. PAILLÉ. Sept. 1967.

FILM COURT ET FILM COURT : Du film 16 mm sonore au film 8 mm muet (montage CAV), J. VALERIEN.

LE CYLINDRE. G. BOUHOT. Documents réalisés sur un même sujet destinés à présenter les aspects pédagogiques et techniques de 4 systèmes audio-visuels : diascopie, rétroprojection, circuit fermé de télévision et cinéma.

Enregistrement d'environ 15 kinescopes au cours de l'expérience sur l'utilisation du Circuit fermé de télévision à l'Ecole Alsacienne : LE CANCER, L'ALCOOLISME, LA RESPIRATION ..., Réalisation : J. VALERIEN.

LES VERTEBRÉS : Montage expérimental pour le Séminaire de Marly, diffusion en circuit fermé de télévision, J. VALERIEN, 1967.

INITIATION AU CIRCUIT FERME DE TELEVISION D'ENSEIGNANTS UNIVERSITAIRES DU CHU ST-ANTOINE : Réalisation de l'émission "Hypertension". Docteurs : C. FORESTIER, R. TROUGNIU. G. BOUHOT, A. PAILLÉ, J. VALERIEN - Emission enregistrée au studio de l'IPN et diffusée au CHU St-Antoine, 1968.

TECHNOLOGIE DES MOYENS COLLECTIFS D'OBSERVATION DES IMAGES. G. BOUHOT, Rapport du séminaire des professeurs de biologie utilisateurs de circuits fermés de télévision, Lille, février 1968, Recherche CAV 68/B2.

TECHNOLOGIE DE LA PROJECTION. G. BOUHOT, Communication au congrès des arts graphiques, Paris février 1968, Recherche CAV 68/B2.

ELEMENTS DE PROSPECTIVE TECHNOLOGIQUE AUDIO-VISUELLE 1968-1986. G. BOUHOT, Rapport I.P.N., février 1968, Recherche CAV 68/B2.

L'UTILISATION DE LA TELEVISION EN CIRCUIT FERME DANS LES CLASSES SECONDAIRES. J. VALERIEN, Sang neuf, mars 1968, 18.

NOTE SUR LE CHOIX D'UN EQUIPEMENT VALABLE POUR LES EMISSIONS DE TELEVISION MEDICALES. G. THOMAS D'HOSSE, J. JAMES, Centre Audio-Visuel, Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud, 1968. (note C.A.V.).

L'EQUIPE DE CINEMA SCIENTIFIQUE. G. THOMAS D'HOSSE, J. JAMES, Note. Centre Audio-Visuel, Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud, 1968.

DETERMINATION DES CONTENUS D'UNE PROGRESSION POUR UNE CLASSE DE 5ème : rapport du séminaire de travail pour la préparation des contenus et la mise en oeuvre pédagogique en vue d'un enseignement audiovisuel en Sciences Naturelles (IPN). La commission dont J. VALERIEN, G. BOUHOT, A. PAILLÉ, septembre 1968.

FORMATION DES ENSEIGNANTS, MOYENS PHOTOGRAPHIQUES, et
FORMATION DES ENSEIGNANTS, MOYENS CINEMATOGRAPHIQUES.

G. BOUHOT, Châpitres d'un livre publié par le Conseil de l'Europe (en
cours de publication), manuscrits déposés en novembre 1968.

DETERMINATION DES CONTENUS D'UNE PROGRESSION POUR UNE CLASSE DE 4ème :
Rapport du séminaire de travail pour la préparation des contenus et
leur mise en oeuvre pédagogique en vue d'un enseignement audio-visuel
en Sciences Naturelles (IPN). La commission dont G. BOUHOT,
D. FOURMAINTRAUX, A. PAILLÉ, septembre 1968.

UTILISATION DU CIRCUIT FERME DE TELEVISION POUR LA CONDUITE DE
TRAVAUX PRATIQUES DE GEOLOGIE. Faculté des Sciences d'Orsay, laboratoire
du Professeur BROUSSE. Quatre émissions ont été réalisées chaque
semaine durant deux années scolaires par l'équipe du laboratoire,
sous la direction du Professeur R. BROUSSE. Coordination J. VALERIEN,
G. BOUHOT, A. PAILLÉ, Rapport en cours d'élaboration.

